REPORT DOCUMENTATION PAGE

Form Approved OMB No. 0704-0188

1. AGENCY USE ONLY (Leave blank)	2. REPORT DATE	3. REPORT TYPE AND DATES COVERED
	December 2004	Final Report

4. TITLE AND SUBTITLE

Toekomstige radiocommunicatie in OVG

(Soon-to-be radio communication in OVG)

5. FUNDING NUMBERS

A04KL146
019.20499

6. AUTHOR(S)

R. Overduin, J.C.M. Segers

7 PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)

TNO Informatie- en Communicatietechnologie, PO Box 5050, 2600 GB Delft, The Netherlands
Brassersplein 2, Delft, The Netherlands

8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER

33538

9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES

KCenGM Prins Bernhardkazeme, Barchman Wuytierslaan 198, Amersfoort, The Netherlands

10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER

TD04-0463

11. SUPPLEMENTARY NO TES

Text in Dutch, 55 pages (including appendices, excluding RDP and distribution list), 41 references.

12a. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT

Unlimited. Copyrighted.

12b. DISTRIBUTION CODE

ABSTRACT (Maximum 200 words)

This report considers the applicability of military WLAN-based systems, communication relay-enabled UAVs and UWB for communications in Urban Warfare for the period of 2010-2015. Technical-operational requirements have been identified and applied to for the purpose of this study. The role of JTRS and Network Enabled Capabilities has also been regarded in this study. As a possible intermediate solution, the use of GPRS has been briefly considered.

14. SUBJECT TERMS

TNO, Dutch, Telecommunication, Urban Warfare, Small Unit Operations, Wireless LAN, Military Communication, Ultra Wideband, Unmanned Aerial Vehicle

15. NUMBER OF PAGES

16. PRICE CODE

17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT	18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE	19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT	20. LIMITATION OF ABSTRACT
UNCLASSIFIED	UNCLASSIFIED	UNCLASSIFIED	UL

ONGERUBRICEERD

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek / Netherlands Organisation for Applied Scientific Research



TNO-rapport
33538

TNO Informatie- en Communicatietechnologie

Brassersplein 2
Postbus 5050
2600 GB Delft

Telefoon 015 285 70 00
Fax 015 285 70 57

Toekomstige radiocommunicatie in OVG

Datum
December 2004

Auteur(s)
R. Overduin, J.C.M. Segers

Opdrachtnummer	A04KL146
Opdrachtgever	KL/OTCMAN
Organisatieonderdeel	KCenGM
Projectbegeleider	Maj. R.G.A.W. Wilmsen
Organisatieonderdeel	KCenGM

Rubricering

Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	Maj. R.G.A.W. Wilmsen
Vastgesteld d.d.	-

Exemplaarnr.	
Oplage	20
Aantal pagina's	56 (incl. bijlagen & RDP, excl. distributielijst)
Aantal bijlagen	2

AQ F06-08-6885

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

ONGERUBRICEERD

Toekomstige radiocommunicatie in OVG



TNO-rapportnummer
33538
Opdrachtnummer
A04KL146

Datum
december 2004
Auteur(s)
R. Overduin, J.C.M. Segers
Rubricering rapport
Ongerubriceerd

Probleemstelling

In deze studie is, vooruitlopend op de ELOT van de huidige FM9000-radio, onderzocht wat de verwachte inzetbaarheid in Optreden Verstedelijkt Gebied (OVG) is van alternatieve systemen in de periode 2010-2015. Dit betreft militaire Wireless Local Area Networks (WLAN)-varianten, communicatie-Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) en Ultra Wideband (UWB). Deze studie is het vervolg op het onderzoek dat TNO in 2003 heeft uitgevoerd. Hierin werd al vastgesteld dat de FM9000-radio in OVG over het algemeen niet voldoet.

Beschrijving van de werkzaamheden

Via conferenties, desk-top onderzoek en al aanwezige kennis is de inzetbaarheid van genoemde systemen in OVG beoordeeld. Als richtlijn voor de beoordeling van deze systemen is in samenwerking met de KL eerst een aantal operationeel-technische criteria opgesteld. De beschouwde systemen zijn in relatie gebracht met de mogelijkheden van GPRS (General Packet Radio Service) en JTRS (Joint Tactical Radio System).

Resultaten en conclusies

Alleen militaire varianten van WLAN komen voor inzet van OVG in aanmerking indien in deze producten essentiële zwakheden van de WLAN-standaard zijn opgelost. In ieder geval moeten maatregelen zijn getroffen om het bereik in verstedelijkte gebieden en de bestendigheid tegen interferentie, peiling en opzettelijke storing te vergroten. Daarnaast zal het systeem ook moeten voorzien in een transmissiecapaciteit die zich automatisch aanpast aan de omgeving. De ad hoc-topologie met routering wordt als meest bruikbare optie gezien voor teamcommunicatie in OVG.
In de periode 2010-2015 zouden militaire varianten van de IEEE 802.11-standaard met UWB uitgerust kunnen zijn. UWB biedt binnen een team hogere storings- en interferentiebestendigheid, -Low Probability of Detection/ Interception, verhoogde verbindingsbeschikbaarheid en relatieve indoor plaatsbepaling.
Als alternatief voor een militaire WLAN-variant kan ook een geavanceerde maar relatief kostbare militaire radio worden gekozen, die dan waarschijnlijk als JTRS-radio is uitgevoerd zodat tevens interoperabiliteit met legacy radio's wordt verkregen. Voor deze keuze en voor de specifieke productselectie moet het belang worden overwogen van military-grade vercijfering, bestendigheid tegen peiling, interferentie en storing en de omvang van de gewenste (betrouwbare) indoor en outdoor gebiedsdekking. Daarnaast hangt de keuze van ad hoc- of infrastructuurtopologie samen met de gewenste wijze van communiceren (*push-to-talk* of gelijktijdige communicatie), de gewenste flexibiliteit en daarbij goede configureerbaarheid/ autonomie en de eventuele eis om direct informatie te transporteren van een teamlid direct naar hoog commandoniveau. Ten aanzien van de hanteerbaarheid moet specifiek gekeken worden naar de omvang, het stroomverbruik en bedieningsgemak van alle systeemdelen.

Eventueel kan als ad interim-oplossing voor de komende vijf jaar het gebruik van publieke cellulaire technologie in overweging genomen worden, waarbij concessies worden gedaan op het gebied van peilbaarheid, stoor- en interferentiebestendigheid en wellicht ook ten aanzien van responsietijden. Het is mogelijk dat dit type systemen in gemodificeerde, specifieke uitvoeringen op termijn ook voor Defensie en Maatschappelijke Veiligheid-toepassingen beschikbaar komt.

ONGERUBRICEERD

De toepassing van communicatie-UAVs in de periode 2010-2015 als outdoor-middel voor onder meer OVG is waarschijnlijk, mede gezien de inpassing van communicatie-UAVs in het (NATO) Network Enabled Capabilities en specifiek in het Global Information Grid (GIG). Het GIG-concept waarin UAVs onderling en al dan niet in combinatie met SATCOM worden geschakeld, kan binnen OVG een betrouwbare verbinding realiseren tussen een teamcommandant en een commandant op eersthoger of gelijkwaardig niveau. Het gebruik van communicatie-UAVs kan als aanvullend worden gezien op het gebruik van een militaire terrestriale radio of een militaire WLAN-variant.
Voor outdoor-communicatie in OVG zijn vooral interessant Small UAVs in de EHF-band of hogere SHF-band. Hierdoor ontstaan meer mogelijkheden voor geavanceerde, situational-awareness ondersteunende diensten en verbetering van de huidige spraakdienst, van belang in stress-situaties. De toepassings-mogelijkheid van dergelijke radiofrequenties is nog aan onderzoek en ontwikkeling onderhevig.

Toepasbaarheid

De inhoud van dit rapport kan worden gebruikt bij het aanschafbeleid van nieuwe radiomiddelen voor OVG voor de periode van 2010-2015. Tevens biedt dit rapport achtergrondinformatie voor C2-gerelateerd onderzoek zoals binnen het programma Optreden Kleine Eenheden uitgevoerd.

TNO Informatie- en Communicatietechnologie

Brassersplein 2
Postbus 5050
2600 GB Delft

www.tno.nl
Info@telecom.tno.nl

T 015 285 70 00
F 015 285 70 57

PROGRAMMA	PROJECT
Programmabegeleider Lkol. H.J.R. Oerlemans, OTCMAN	Projectbegeleider Maj. R.G.A.W. Wilmsen
Programmaleider R.G.W. Gouweleeuw, TNO Defensie en Veiligheid	Projectleider R. Overduin, TNO Informatie- en Communicatietechnologie
Programmatitel Optreden Kleine Eenheden (OKE)	Projecttitel Mobiele communicatie in OVG
Programmanummer V215	Projectnummer 019.20499
Programmaplanning Start 1 maart 2003 Gereed 30 juni 2007	Projectplanning Start 1 januari 2004 Gereed 31 december 2004
Frequentie van overleg Met de programma/projectbegeleider werd 3 maal gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek.	Projectteam R. Overduin, J.R. Schmidt, J.C.M. Segers, R.R. Wymenga

Distributie volledig rapport:
- SC-WOO, HWO-KL
- OTCMAN, t.a.v.
  Lkol. J.P. v. Houten,
  Lkol. H.J.R. Oerlemans,
  Maj. R.G.A.W. Wilmsen,
  Kap. N. Teerds
  Kap. C.L. Roos

Inhoud

Afkortingen

ACP	Air Communications Payload
AES	Advanced Encryption Standard
AJCN	Adaptive Joint C4ISR Node
AMB	Air Mobile Backbone
AODV	Ad hoc On Demand Distance Vector
AP	Access Point
ARL	Army Research Laboratory
AVT	Applied Vehicle Technology
BSS	Basic Service Set
C2SC	Command and Control Support Centre
CNR	Combat Net Radio
COMSEC	Communication Security
COTS	Commercial-Off-The-Shelf
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CTS	Clear To Send
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DoD	Department of Defense
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EHF	Extremely High Frequency
ELOT	End of Life of Type
EOV	Elektronische Oorlogvoering
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunication Standardisation Institute
FCC	Federal Communications Commission
FCS	Future Combat System
FEC	Forward Error Control
FIPS	Federal Information Processing Standard
FPGA	Field-Programmable Gate Array
FH	Frequency Hopping
GIG	Global Information Grid
GPS	Global Positioning System
HAA	High Alititude Airship
HALE	High Altitude Long Endurance UAV
HF	High Frequency
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
ISM	Industial Scientific Medical
IP	Internet Protocol
IPsec	Internet Protocol- Security
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
ISTAR	Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance
ITU	International Telecommunications Union

JTRS	Joint Tactical Radio System
JUEP	Joint UAV Experimentation Programme
LPD	Low Probability of Detection
LPI	Low Probability of Interception
MAC	Medium Access Protocol
MAE	Medium Altitude/Endurance
MDA	US Missile Defense Agency
MOUT	Military Operations in Urban Terrain
MWLAN	Military Wireless Local Area Network
NEC	Network Enabled Capabilities
NIAG	NATO Industrial Advisory Group
NJFA	NATO Joint Frequency Agreement
NC3A	NATO C3 Agency
NCW	Network Centric Warfare
NSA	National Security Agency
OF	Objective Force
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OKE	Optreden Kleine Eenheden
OVG	Optreden Verstedelijkt Gebied
PRR	Personal Role Radio
RF	Radio Frequentie
RTP	Real-Time Transport Protocol
RTS	Request To Send
SATCOM	Satellietcommunicatie
SDR	Software Defined Radio
SFF	Small Form Fit
SHF	Super High Frequency
SPOF	Single Point of Failure
SRW	Soldier Radio Waveform
STANAG	Standardisation Agreement (NATO)
SUAV	Small UAV
SUO-SAS	Small Unit Operations Situational Awareness System
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
TP	Technical Party
TRANSEC	Transmission Security
TTO	Tactical Technology Office (van DARPA)
TUAV	Tactical Unmanned Aerial Vehicle
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHF	Ultra High Frequency
UCAV	Uninhabited Combat Air Vehicle
UDP	User Datagram Protocol
UGS	Unattended Ground Sensor
UGV	Unattended Ground Vehicle
UWB	Ultra Wideband

VoIP	Voice-over-IP
VTOL	Vertical Take Off and Landing
WIN-T	Warfighter Information Network - Tactical
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WNW	Wideband Networking Waveform
WPAN	Wireless Personal Area Network

1. Inleiding

Eenheden van de KL zullen vaker dan in het verleden moeten opereren in verstedelijkt gebied. In het TNO-onderzoek "KL-verbindingsmiddelen in OVG (Optreden Verstedelijkt Gebied)", uitgevoerd in 2003 binnen het programma *De toekomstige commandopost in een Network Centric omgeving* (V203), is vastgesteld dat de beschikbaarheid van FM9000-verbindingen niet optimaal is, ook niet indien maatregelen worden genomen ten aanzien van keuze van frequenties en specifieke inzetregels. Vooruitlopend op de End of Life of Type (ELOT) van de FM9000 is het daarom wenselijk om inzicht te krijgen in eventuele alternatieve middelen die ingezet kunnen worden in OVG voor de periode rond 2010-2015. Hiermee is voor wat betreft de langere termijn, binnen het programma Optreden Kleine Eenheden (OKE), verdere invulling gegeven aan de onderzoeksbehoefte die in 2003 naar voren is gekomen uit de Inventarisatie OVG-onderzoek.

Het doel van deze opdracht is dan ook om de bruikbaarheid van alternatieve mobiele en draadloze verbindingssystemen in OVG in de periode rond 2010-2015 in te schatten, ter ondersteuning van de bepaling van één of meerdere geschikte systemen door de KL voor de inzet in deze periode. Deze desktop-studie heeft zich a priori beperkt tot de beschouwing van WLAN en militaire varianten daarvan, communication-relay enabled UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) en implementaties van UWB (Ultra Wideband). Als richtlijn voor de beschrijving en beoordeling van deze systemen is een aantal operationeel-technische criteria opgesteld, die in Hoofdstuk 2 zijn gegeven. In Hoofdstuk 3 worden de WLANs (Wireless Local Area Networks) en WLAN-varianten beschouwd. Als afsluiting daarvan worden in kort bestek mogelijkheden van UWB als modulatietechnologie en van publieke cellulaire technologieën behandeld. In Hoofdstuk 4 wordt vervolgens de inzetbaarheid van UAV-systemen in OVG geanalyseerd. In Hoofdstuk 5 komt de positie van JTRS (Joint Tactical Radio System) als gestandaardiseerd radioplatform waarin meerdere technologieën zullen zijn ondergebracht, aan de orde. Tot slot volgen in Hoofdstuk 6 conclusies en aanbevelingen.

De tekstdelen in schuinschrift en kleiner lettertype bevatten detailinformatie die niet relevant is voor het vervolg van dit rapport, maar waarvan opname in de hoofdtekst ten behoeve van een heldere context op zijn plaats geacht wordt.

2. Operationeel-technische criteria

De volgende algemene eisen voor draadloze telecommunicatiesystemen zijn in onderling overleg met de KL opgesteld als leidraad voor de beschrijving en beoordeling van de alternatieve typen toekomstige radiosystemen:

- **Beschikbaarheid:**
  - *in de tijd;*
    set-up tijd, interrupties (inclusief eventuele handovers) en heruitzendingstijd bepaald door radiopropagatie (dus radiospectrum), radio- & antenne-eigenschappen en -protocollen, snelheid van configureren, mobiliteit, levensduur batterijen en capaciteit;
  - *organisatorisch/ commercieel (inclusief radiospectrum);*
    bepaald door (on)afhankelijkheid van derden (andere naties, wetgeving (minder van toepassing in Peace Enforcing operaties) en commerciële partijen);
- **Connectiviteit:**
  - ondersteunde verbindingsstructuur tussen eindgebruikers: punt-punt, punt-multipunt, multipunt-multipunt;
- **Capaciteit:**
  bepaald door radiopropagatie (dus radiospectrum met kanaalindeling/ standaardisatie) en radio- & antenne-eigenschappen. De gewenste diensten (spraak, data, beeld, multimedia) en verkeersintensiteit bepalen of de capaciteit voldoende is;
  - *bereik* en *dekking (footprint & hoogte)* punt-multipunt/ multipunt-multipunt;
  - *toelaatbare vertraging* van gebruiker naar gebruiker;
    ook bepaald door systeemarchitectuur (switches/ routers) en protocollen;
  - *transmissiecapaciteit*: totaal en per gebruiker (MAC (Medium Access Control)-protocol);
- **Ergonomie/ hanteerbaarheid:**
  - *gebruikersinterface;*
    bepaald door resolutie, representeerbaarheid, bedienbaarheid en omvang van vooral de applicatie. Vaak kan dit losgekoppeld worden van het radiosysteem en zal in dat geval niet in deze studie worden geschouwd;
  - *gewicht en afmetingen volume;*
- **Bestendigheid/ robuustheid:**
  - *tegen fysieke aanvallen;*
    bepaald door redundantie, mobiliteit en actieve & passieve (zelf) beschermingsmogelijkheden (d.w.z. wapens contra mogelijkheid plaatsing laag bij de grond, camoufleerbaarheid, bedekbaarheid);
  - *tegen interferentie;*

bepaald door radiopropagatie (dus radiospectrum) en radio- & antenne-eigenschappen in relatie tot die van stoorbronnen en andere radiosystemen;
- *tegen peiling;*
  bepaald door radiopropagatie (dus radiospectrum) en radio- & antenne-eigenschappen;
- *tegen elektronische aanvallen (jamming);*
  bepaald door anti-stoormaatregelen en antenne-eigenschappen/ dekking;
- *tegen afluisteren;*
  bepaald door COMSEC-maatregelen en antenne-eigenschappen/ dekking;

- **Flexibiliteit:**
  - *interoperabiliteit;*
    Interoperabiliteit met andere radiosystemen wordt bepaald door standaardisatie en is tevens een indicatie voor de toekomstvastheid en acceptatie van radiosystemen. Acceptatie leidend tot interoperabiliteit met eenheden van andere landen is hier vooralsnog niet van wezenlijk belang (niveau is beperkt tot bat);
  - *aanpassing aan de groep, hun missie/taak en missieomgeving;*
    bepaald door configureerbaarheid, eventuele autonomie van het radiosysteem waardoor functionaliteit van radiosystemen instelbaar (programmeerbaar) kan worden voor een bepaalde groep en missie (frequentie, modulatie, leden van een gesloten groep ('net'), zeroise-functie, enz.);
- **Toelaatbare overhead:**
  - *vereiste systeemmanagement/ personeel* (kwalitatief zoals mate van complexiteit, kwetsbaarheid hiervan);
  - *volume en gewicht van eventuele systeemelementen*: basisposten en switches/ routers;
- **Relatieve kostenindicatie**:
  onderlinge priotisering van systeemalternatieven naar totale kosten. Strikt genomen geen operationele eis, maar wel een reële randvoorwaarde.

3. Wireless Local Area Networks (WLANs) en militaire varianten

3.1 Inleiding

In de civiele wereld heeft de IEEE 802.11-standaard de laatste jaren een grote vlucht genomen. Vooral het IEEE 802.11b- supplement heeft veel toepassing gevonden in WLAN (Wireless Local Area Network) systemen. Op de website van de IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) is een heldere inleiding [2] in deze standaard te vinden.
Het succes van de IEEE 802.11-standaard in de civiele wereld heeft ook in de militaire wereld de interesse gewekt. Het gebruik van deze standaard voor militaire doeleinden heeft op zich aantrekkelijke kanten: door het massale gebruik van de technologie in de civiele wereld treden er schaalvoordelen op. Het is hierdoor goedkoop geworden om een radiocommunicatienetwerk te realiseren dat alle basisfunctionaliteit al heeft. Vele bedrijven en instellingen zijn op allerlei manieren bezig de IEEE 802.11-standaard aan te passen en bij te schaven aan de militaire behoefte. Noemenswaardige bedrijven in dit opzicht zijn het Amerikaanse Harris met SecNet 11 Plus [3], het Israelische Elbit met MWLAN (Military Wireless Local Area Network) [4] en het Noorse Kongsberg [5] dat samen met NC3A (NATO C3 Agency) een interessante studie heeft uitgevoerd. Voor militaire toepassingen wordt door deze bedrijven gewerkt aan aanpassingen en uitbreidingen van de op de IEEE 802.11-standaard gebaseerde producten. Hierbij kan gedacht worden aan: beveiliging, frequentiegebruik, routering (geen functionaliteit van de 802.11 standaard) en vermogen.
Ook door onderzoeksinstituten wordt gekeken naar de mogelijkheid om de IEEE 802.11-standaard te benutten voor militaire doeleinden. Naast de activiteiten van NC3A worden in de Verenigde Staten o.a. binnen het DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)-project interessante studies uitgevoerd voor het aanpassen van WLAN om het geschikt te maken als communicatiemiddel voor de individuele soldaat [6]. Ten slotte worden sensornetwerken deels op WLAN-technologie gebaseerd. Deze sensornetwerken vormen een belangrijke component van Network Enabled Capabilities (NEC) en kunnen de uitgestegen groep bedienen van informatie over de situatie in de directe omgeving. In deze studie is echter primair gekeken naar de bruikbaarheid van WLAN-technologieën voor tactische communicatie binnen OVG.

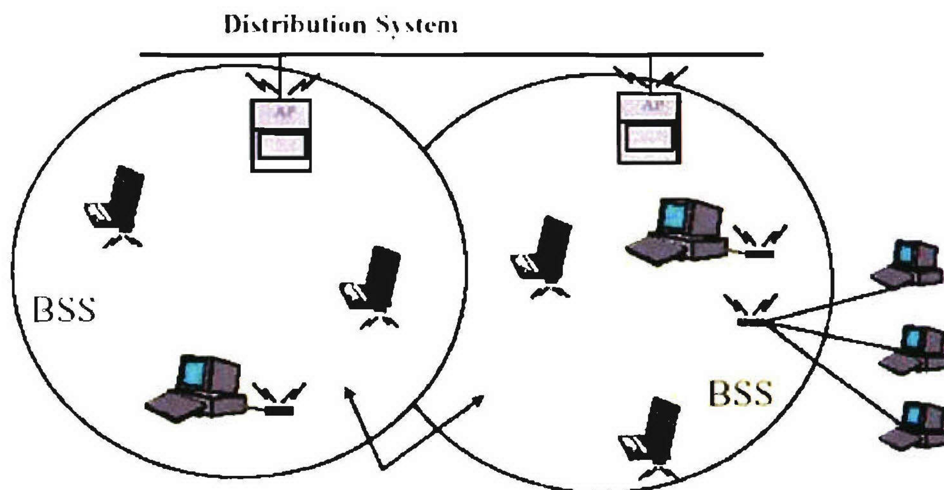
3.2 WLAN Technologie

Veel WLAN en WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) producten die op de markt gaan komen of momenteel in ontwikkeling zijn bij fabrikanten en

onderzoeksinstituten zijn veelal gebaseerd op de IEEE 802.11-standaard en het IEEE 802.11b supplement. Een goed inzicht in de IEEE 802.11-standaard is ook een goed startpunt om inzicht te krijgen in de mogelijkheden van militaire radiosystemen die in opkomst zijn en die geheel of gedeeltelijk op IEEE 802.11 zijn gebaseerd. Daarom volgt eerst een overzicht van de aspecten van de commerciële WLAN IEEE 802.11-standaard die van belang zijn om de operationele aspecten beter te kunnen plaatsen.

3.2.1 Infrastructuur- versus ad hoc-topologieën

Er worden in deze standaard twee verschillende topologieën beschreven: de zogenaamde infrastructuurtopologie en de ad hoc-topologie.
Voor mobiele communicatie zonder tussenkomst van een vaste infrastructuur is vooral de ad hoc-topologie interessant. De stations in het netwerk communiceren direct met elkaar zonder dat er verder enige vaste infrastructuur gebruikt moet worden (het kan indien gewenst wel). Ad hoc-netwerken zijn hierdoor flexibele communicatienetwerken die meer op verplaatsingen is toegesneden dan een zogenaamde infrastructuurtopologie.
In de infrastructuurtopologie zijn vaste basisstations (*access points, APs*) aanwezig en wordt WLAN meestal gebruikt als toegangsnetwerk naar het Internet, thuis of een bedrijfsnetwerk. Het AP is vaak aan een vast netwerk gekoppeld, strikt noodzakelijk is dit niet.



Figuur 3-1: WLAN infrastructuurtopologie (als Extended Service Set)
BSS = Basic Service Set

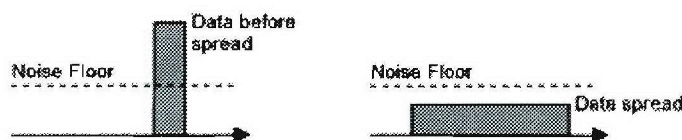
Iedere cel met access point wordt in IEEE 802.11-jargon een Basic Service Set (BSS) genoemd. Bij koppeling van meerdere BSSs via een vaste infrastructuur spreekt men van een Extended Service Set (ESS).

Binnen iedere cel kunnen de aparte (mobiele) stations met elkaar en met het AP communiceren. De APs kunnen met elkaar communiceren via het vaste netwerk. Via hun respectievelijke APs kunnen de individuele stations dus met ieder ander station in het netwerk communiceren. Het systeem is zo opgezet dat op een heel eenvoudige manier stations een cel kunnen betreden en weer kunnen verlaten.

Iedere AP en elk individueel station zijn uitgerust met een antenne met een zekere gebiedsbedekking.
Als IEEE 802.11 ad hoc-netwerk zijn er alleen losse stations die met elkaar communiceren. Er zijn geen APs en infrastructuur aanwezig. Er is dus feitelijk alleen één cel waarin zich alle aanwezige stations bevinden. Relayering in IEEE 802.11 is niet mogelijk zodat stations dus alleen met elkaar kunnen communiceren als daartussen een directe verbinding bestaat.

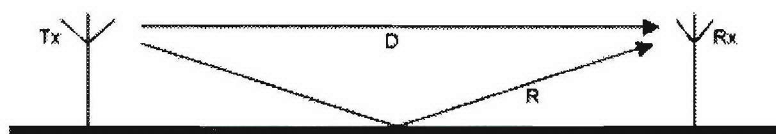
3.2.2 Spectrale spreidingstechnieken

In de IEEE 802.11-standaard zijn drie methodes voorzien om het vermogen dat het zendsignaal beslaat over het radio-frequentiespectrum te spreiden: Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), Frequency Hopping (FH) en Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).
In de IEEE 802.11-standaard wordt voor DSSS elk informatiebit gecodeerd in een zogenaamde spreading code van 11 bits. Het gevolg hiervan is dat het radiospectrum 11 maal zo breed wordt. Anderzijds wordt het vermogen per Hz 10,4 dB lager ten opzichte van een signaal zonder *spreading code*. Op deze manier kan het signaalniveau zelfs onder de ruisvloer komen te liggen waardoor het iets moeilijker detecteerbaar is voor derden. Dit is aangegeven in Figuur 3-2. Voor werkelijk goede Low Probability of Detection (LPD) en tevens anti-stooreigenschappen dient de spreading code echter veel langer te zijn [15].



Figuur 3-2: Vermogensspreiding door DSSS

Veel fabrikanten die WLAN-systemen aanpassen voor militair gebruik hebben gekozen voor DSSS. DSSS biedt het voordeel dat het proces van het *spreaden* van het signaal bij de zender over een grotere bandbreedte en het weer *despreaden* bij de ontvanger het signaal robuuster kan maken tegen zogenaamde multipad-effecten (zie Figuur 3-3), een effect dat vooral in stedelijke gebieden met name in hogere frequentiebanden sterk optreedt.



Figuur 3-3: Het gespiegelde signaal legt altijd een langere weg af

Het directe signaal wordt bij de ontvanger gedecodeerd. Het gereflecteerde signaal wordt echter altijd later ontvangen dan het directe signaal waardoor de kans groot

is dat het niet in fase is met het hoofdsignaal. Hierdoor wordt dit signaal door *despreading* bewerking omgezet in ruis en heeft hierdoor veel minder impact op het ontvangstsignaal.
Een belangrijk nadeel van DSSS is dat het veel meer bandbreedte vraagt, waardoor het vaak moeilijk is militaire varianten in de frequentieregulering onder te brengen, zodat zij ook daadwerkelijk in een bepaald gebied gebruikt kunnen worden.

Frequentie Hopping (FH) biedt inherent een betere bestendigheid tegen detectie en storing dan DSSS [15]. FH is het continue veranderen van de draaggolffrequentie in de tijd. Het signaal wordt dus, in tegenstelling tot DSSS, *in de tijd* gezien gespreid over het spectrum. Als dit snel genoeg gaat, wordt het signaal lastiger te detecteren en te storen. De FH-mode van IEEE 802.11 behoort echter nog tot het langzame type en biedt daardoor matige protectie.

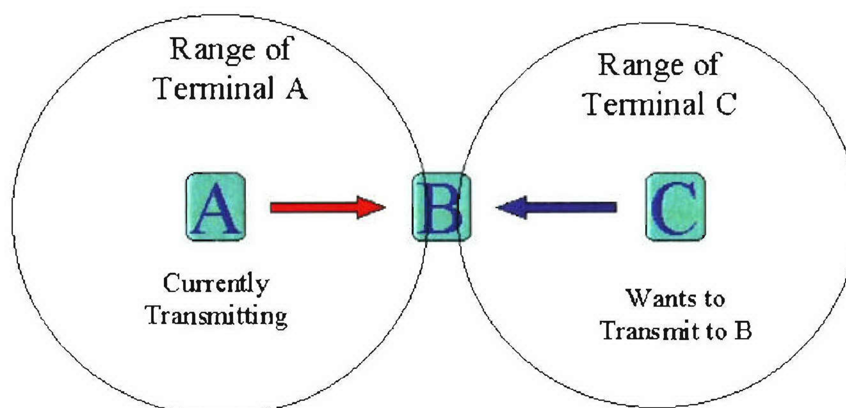
OFDM is een in opkomst zijnde techniek die al in de IEEE 802.11a- en g-supplementen is beschreven. Deze techniek biedt echter geen enkele bescherming tegen interferentie en opzettelijke storing en zal daarom hier niet verder worden besproken.

3.2.3 Medium toegangsprotocol (MAC-protocol)

In veel telecommunicatienetwerken moet de toegang tot het medium waarover gecommuniceerd wordt, over de gebruikers verdeeld worden. Dit gebeurt door het zogenaamde Medium Access Control protocol (MAC-protocol). Het gekozen MAC-protocol voor de IEEE 802.11-standaard is Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA).
CSMA is een protocol waarbij een zender die wat te verzenden heeft, eerst op het medium kijkt of er al door een andere zender gezonden wordt. Is dit niet het geval dan wordt een frame uitgezonden. Ontdekt de zender wel een andere zendende radio op het medium, dan wacht hij een willekeurige tijd, en probeert het vervolgens opnieuw. De beschikbare bandbreedte wordt gedeeld door alle deelnemers in het netwerk die gebruik maken van dezelfde frequentie. In de praktijk blijkt door de overhead van dit mechanisme, minder dan naar rato over te blijven voor het aantal simultaan communicerende terminals: de totaal beschikbare bandbreedte is ongeveer 70% voor twee simultaan communicerende stations [16], voor drie is deze ca. 55% en voor vier ca. 45%. Bij een nog hogere bezettingsgraad treden er zoveel botsingen op dat het CSMA/CA-mechanisme niet goed meer werkt.

Gezien de wijze waarop nu in een uitgestegen groep zal worden gecommuniceerd (op basis van *push-to-talk*) zijn bovenstaande gegevens rond simultane communicatie in een WLAN minder interessant. In geval van *push-to-talk* zal het CSMA/CA-protocol moeten worden aangestuurd door een ander protocol, dat ervoor zorgt dat één gebruiker tegelijkertijd kan communiceren (zie verder onder 'operationele aspecten').

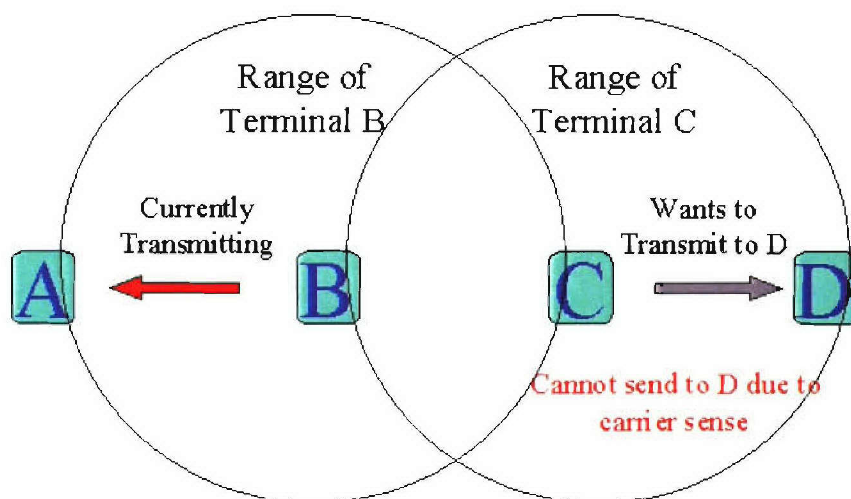
Een probleem dat in WLAN-netwerken met CSMA/CA optreedt is het zogenaamde 'hidden terminal' probleem (Figuur 3-4). Om dit probleem te ondervangen is voor de infrastructuurtopologie een extra optie in de standaard toegevoegd.



Figuur 3-4: Het 'Hidden Terminal' probleem

Terminal B kan zowel terminal A als ook terminal C 'zien' A en C kunnen elkaar echter niet ontvangen. Dus als terminal C op een bepaald moment een bericht voor B heeft, kan hij niet zien dat B al bezig is een bericht van A te ontvangen.
De oplossing voor dit probleem voor de infrastructuurtopologie is als volgt: een terminal zendt voor hij het eigenlijke bericht verstuurt eerst een verzoek aan het AP of hij de boodschap kan ontvangen. Dit gebeurt met een Request To Send (RTS) boodschap. De AP antwoordt met een Clear To Send (CTS) boodschap, en pas hierna begint de terminal zijn bericht te zenden. Alle andere cliënts in het netwerk moeten zich gedurende enige tijd van activiteit onthouden als ze een CTS of RTS-bericht ontvangen dat niet voor hen bedoeld is.

Ook treedt vaak een zogenaamd 'exposed terminal' probleem op in netwerken van dit soort (zie Figuur 3-5). In de huidige versie van de IEEE 802.11-standaard en supplementen is dit probleem niet opgelost.



Figuur 3-5: Het 'Exposed Terminal' probleem

Terminal C wil een bericht naar terminal D sturen. Dit zou ook kunnen, want terminal D ontvangt verder geen berichten. Het probleem is echter dat terminal C detecteert dat terminal B aan het zenden is, en daardoor moet wachten tot terminal B klaar is.

In principe zou dit probleem sterk te verminderen of waarschijnlijk zelfs op te lossen zijn door het gebruik van gerichte antennes met kleine openingshoeken. In veel gevallen is dit niet een gewenste oplossing aangezien er, zoals binnen teams in OVG, veel multicast en broadcast datatransmissie gebruikt wordt. Indien richtantennes worden gebruikt ontstaat bovendien nog als complexiteit dat in een ad hoc-netwerk een systeem moet zijn dat zend- en ontvangerantenne op elkaar richt en gericht houdt. In een praktische commandvoeringssituatie is deze oplossing alleen van toepassing voor punt-punt verbindingen (commandant met het eerstvolgende niveau) maar is zelfs al lastig voor semi-statische locaties in een verstedelijkte omgeving.

3.2.4 Het Internetprotocol (IP)

De algemene trend in militaire radionetwerken is, zoals in de gehele communicatiewereld, naar het gebruik van het Internet Protocol (IP). WLAN-systemen en militaire radiosystemen die geheel of deels op IEEE 802.11 zijn gebaseerd, zijn dan ook specifiek ontworpen voor het gebruik van IP-verkeer. Ook gedigitaliseerd spraakverkeer zal over het algemeen in IP-pakketten ingepakt worden *(Voice over IP*, VoIP) via daarvoor ontwikkelde protocollen. Er zijn hiervoor verschillende signaleringsprotocollen mogelijk die nog niet zijn uitgekristalliseerd.

Sommige van deze protocollen zijn ook fabrikantspecifiek (waarvan het Skinny Client Control Protocol van Cisco een van de bekendere is). Voor het verwerken van digitale spraak in de juiste informatiebrokken gebruikt men vaak het Real-Time Transport Protocol (RTP) [12]. RTP is door de IETF (Internet Engineering Task Force) gestandaardiseerd en kan worden gebruikt naast protocollen zoals UDP (User Datagram Protocol) of een vorm van reliable multicast om gelijktijdige verzending van een zender naar andere teamleden

mogelijk te maken. De kwaliteit van de spraak is afhankelijk van de gekozen codering en de beschikbare bandbreedte.
Het grote voordeel van de IP-aanpak is dat vanuit de radio gezien spraak dan slechts een van de mogelijke toepassingen is die het IP-protocol als drager gebruikt. In een wereld waar ook spraak steeds meer over IP-dragers vervoerd wordt maakt dit de radio veel simpeler. Een nadeel van deze aanpak is dat extra *overhead* moet worden geïntroduceerd.

3.3 Technisch-operationele aspecten van WLAN en militaire varianten

De technisch-operationele aspecten worden behandeld aan de hand van de lijst die in Hoofdstuk 2 is opgenomen en de technische eigenschappen van de IEEE 802.11-technologie.
Naast de algemene operationele aspecten voor ieder gebruik van radionetwerken is voor optreden in verstedelijkt gebied een aantal zaken van belang:

- Door de dichte bebouwing en door het binnenshuis optreden is de radio-omgeving vaak onvoorspelbaar. Door de afschermende werking van gebouwen (*shadowing*) en structuren binnen gebouwen, bijvoorbeeld plafonds en muren van gewapend beton, kan de beschikbaarheid van een signaal op een afstand van centimeters geheel veranderen. Door de vele weerkaatsingen zijn er ook sterk wisselende multipadeffecten [8][9]. Vooral de gevolgen van de *shadowing* en multipadeffecten moeten door de fysieke laag van de radio zo veel mogelijk worden tegengegaan worden.
- De eigenschappen van IEEE 802.11 zelf en militaire systemen die geheel of deels op IEEE 802.11 zijn gebaseerd, moeten voor de beoordeling van de bruikbaarheid van deze systemen worden gerelateerd aan de groepsgrootte en de wijze van communiceren. Als uitgangspunt wordt genomen een uitgestegen groep van 7 leden (inclusief de commandant) die binnen een straal van ongeveer 100 m van elkaar verwijderd zijn. Het optreden binnen een object is het meest kritisch. Een primair uitgangspunt is dat goede digitale spraakcommunicatie van primair belang is. In principe zal deze plaatsvinden op basis van *push-to-talk*. Volledigheidshalve wordt ook de mogelijkheid beschouwd dat (in de toekomst) ook gelijktijdige communicatie kan plaatsvinden.

Beschikbaarheid
De beschikbaarheid van een WLAN-verbinding wordt vooral bepaald door de transmissiecapaciteit en de dekking van het netwerk.

De meest waarschijnlijke transmissiesnelheid van een WLAN-netwerk dat daarbij ook robuust moet zijn bedraagt ca. 1 Mbit/s. Voor een IEEE 802.11 WLAN-netwerk zal de capaciteit per gelijktijdige deelnemer meer dan evenredig dalen. Als de ad hoc-topologie wordt gebruikt, zal door transietverkeer de capaciteit per

deelnemer nog verder dalen. In een uitgestegen groep van circa 7 teamleden (inclusief commandant) kan bij toelating van de mogelijkheid tot simultane communicatie hierdoor de beschikbaarheid van transmissiecapaciteit per gebruiker aanzienlijk afnemen. In aanmerking nemende dat voor digitale spraakverbindingen op basis van Voice-over-IP (VoIP) per gebruiker 20 kbit/s (2% van de totaal beschikbare bandbreedte) voldoende is, zal dit geen praktisch probleem opleveren. Indien men, gebruikmakend van een systeem gebaseerd op de IEEE 802.11-standaard, op basis van *push-to-talk* zal willen communiceren, heeft men als gebruiker wel de beschikking over de volledige 1 Mbit/s, maar zal een *net master* het communicatieverkeer moeten regelen. In de infrastructuurtopologie is dit het AP, in de ad hoc-topologie zullen additionele maatregelen benodigd zijn die deze *push-to-talk*-functionaliteit toevoegen. In beide gevallen moet beseft worden dat deze netmaster een Single Point of Failure (SPOF) is. Maatregelen om dit te voorkomen zijn lastig te implementeren.
Voor de capaciteit van 1 Mbit/s is een bandbreedte nodig van 22 MHz. De IEEE 802.11-standaard is gebaseerd op de ISM-band (Industial Scientific Medical) rond een radiofrequentie 2,4 GHz. In de meeste landen ter wereld is in deze band ruimte vrijgemaakt voor het gebruik van WLAN en andere toepassingen zoals magnetronovens, afstandsbedieningen et cetera. Voor deze band is geen vergunning nodig waardoor de kans op storing groot is. Er zijn dan ook verschillende fabrikanten die producten aanbieden waarbij de gebruikte frequentie naar een militair band wordt geschoven. Soms wordt hierbij ook de capaciteit en het bandbreedtebeslag aangepast. Het is immers niet eenvoudig 22 MHz bandbreedte in de militaire banden te vinden (alleen in NJFA (NATO Joint Frequency Agreement) band IV en V). Een interessante ontwikkeling op dit gebied is die van Kongsberg samen met NC3A, beschreven in Paragraaf 3.4. Dit Kongsberg-systeem is in feite geen WLAN meer maar een WMAN gebaseerd op de IEEE 802.11-standaard.

De tweede factor die de beschikbaarheid bepaalt is radiodekking. Signalen in de 2,4 GHz-band buigen niet gemakkelijk om obstakels heen. Bovendien is de demping op deze frequentie vrij groot. Typisch kunnen outdoor afstanden tot 100 meter worden overbrugd (indoor tot circa 20 meter) met het 100 mW effectief uitgezonden vermogen dat is toegestaan in Europa .Voor OVG zal dit in het algemeen niet voldoende zijn voor de onderlinge communicatie in een uitgestegen groep. Voor de communicatie van een commandant met het eerstvolgende niveau is het verre van onvoldoende. De militaire WLAN en WMAN-producten combineren dan ook soms het verschuiven van de frequentie naar een lagere militaire frequentieband met een toename van het gebruikte vermogen. 4 W in plaats van de genoemde 100 mW is gangbaar. De afstand die hiermee overbrugd kan worden is heel afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden en in verstedelijkt gebied moeilijk precies te voorspellen. Met gebruik van richtantennes kan deze afstand oplopen tot circa 20 km bij een vrijzicht-verbinding, afhankelijk van de frequentie.

Connectiviteit
In een distributienetwerk in de infrastructuurtopologie waarbij *access points* met elkaar verbonden zijn, hebben de stations verbinding zolang zij binnen bereik van een *access point* zijn. Voor OVG is voor de communicatie binnen een uitgestegen groep vanwege de beperkte benodigde gebiedsdekking en de besloten communicatie, de infrastructuurtopologie goed denkbaar. De topologiekeuze (ad hoc met/zonder routering of infrastructuur) is ook sterk afhankelijk of men extra kosten wil maken voor het aanbrengen van een uitgebreide *net master* functie in ad hoc netwerken of niet (zie onder 'beschikbaarheid'). Voor algemeen militair optreden is het ad hoc-scenario echter waarschijnlijker, gezien de flexibiliteit en goede configureerbaarheid/autonomie. Dit houdt in dat verbindingen via alternatieve terminals kunnen lopen (redundantie) en de radiodekking automatisch "verplaatst" wordt zonder afhankelijkheid van een vaste infrastructuur.
Zoals opgemerkt kan per definitie in de IEEE 802.11-standaard als ad hoc-topologie geen gebruik gemaakt worden van relayering. Het bereik is in daardoor vrij beperkt: stations in een IEEE 802.11 ad hoc-netwerk kunnen slechts communiceren als zij in elkaars bereik liggen. Aan militaire WLAN-producten wordt dan ook vrijwel altijd routering toegevoegd. Via een routeringsprotocol is het dan mogelijk dat in statische omgevingen alle stations in het netwerk elkaar, eventueel via andere terminals, kunnen bereiken. Er worden door de industrie en binnen de academische wereld momenteel nieuwe ad hoc-routeringsprotocollen ontwikkeld die ook goed blijven functioneren in een zeer dynamische omgeving waarbij steeds verbindingen wegvallen en terugkomen.
Een voorbeeld van en dergelijk nieuw protocol is het Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) routering protocol [11]. Dit protocol is onder meer door Elbit geïmplementeerd in hun WLAN-product.
Binnen een ad hoc WLAN-netwerk zijn in principe zowel punt-punt (unicast)- als multicast-verbindingen mogelijk. Dit laatste betekent dat het mogelijk is tegelijkertijd vanuit één zendende terminal een bericht op te zetten met een groep gebruikers binnen het netwerk (bijvoorbeeld van de teamcommandant met de leden van de uitgestegen groep).
Een multipunt-multipunt groep, zoals een specifieke gebruikersgroep waarin alle groepsleden elkaar horen spreken, is lastig te realiseren. Hiervoor zal een aparte applicatie gemaakt moeten worden.

Integrale transmissiecapaciteit
In de praktijk zal een integrale transmissiesnelheid van 1 Mbit/s in OVG-omstandigheden niet worden gehaald. Door de ongunstige propagatie-omstandigheden zullen veel hertransmissies nodig zijn. Er is een aantal mechanismen bedacht om te zorgen dat bij afnemende kanaalkwaliteit van het ene station naar het andere de capaciteit toch nog op peil blijft en die niet alle zijn opgenomen in de IEEE 802.11-standaard.
Deze maatregelen zijn:

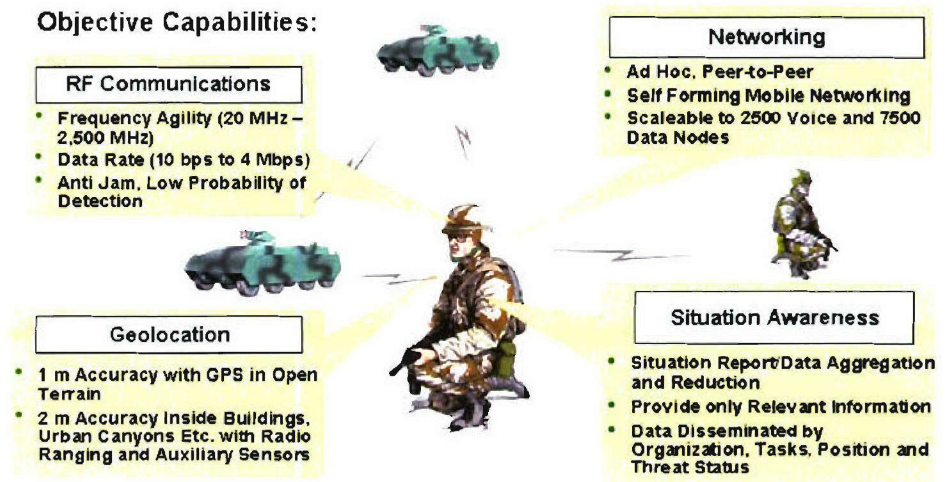
- *Het laten toenemen van het zendvermogen als bitfouten beginnen op te treden (werkt echter niet als de fouten optreden door multipad!);*
- *Aanpassing van de verhouding tussen databits en foutcorrigerende bits bij Forward Error Control (FEC). Dit is niet opgenomen in het IEEE 802.11 en 802.11b-supplement, deze hebben geen FEC; alleen het a-supplement kent FEC;*
- *Het veranderen van de gebruikte modulatiemethode naar minder bits per symbool (dit gebeurt al standaard in het IEEE 802.11-protocol).*

Interoperabiliteit
Vrijwel alle WLAN-producten zijn geënt op IP. Interoperabiliteit met andere systemen moet dan ook op dit niveau gerealiseerd worden. In de praktijk betekent dit dat andere systemen via een tussenliggende router, hub of switch benaderd moeten worden. Dit zijn haalbare oplossingen zodat interoperabiliteit met andere, op IP gebaseerde systemen relatief eenvoudig te realiseren is.

Kostenindicatie
Bij de meeste militaire WLAN-systemen en systemen waarin WLAN-technologie deels wordt gebruikt, is het aanhaken bij ontwikkelingen in de civiele wereld een drijvende factor omdat men probeert te profiteren van technieken die toch al ontwikkeld zijn of worden. Met relatief geringe inspanning wordt dan geprobeerd het systeem geschikt te maken voor militaire toepassingen. Het resultaat is dat het aangepaste product vaak veel goedkoper is in vergelijking met traditionele militaire radio's. Prijzen van een paar duizend euro per radio zijn gangbaar. Militaire producten van vergelijkbare capaciteit kosten vaak minstens tienduizend euro. Dikwijls echter, hebben dit soort producten nog steeds zwakheden zoals beperkte robuustheid tegen opzettelijke storing en zwakke vercijfering. Oplossen van al deze zwakheden zal waarschijnlijk zoveel kosten dat het verschil met de prijzen van puur militaire radio's gering wordt.

3.4 Ontwikkelingen en producten

SUO-SAS
Het Amerikaanse programma SUO-SAS (*Small Unit Operations Situational Awareness System*) [13] richt zich op communicatie binnen uitgestegen troepen en hun *situation(al) awareness* bij optreden in verstedelijkt en bebost gebied. Onderstaand geeft Figuur 3-6 een overzicht van de doelstellingen van dit systeem.



Figuur 3-6:: Overzicht van de doelstellingen van het SUO- SAS programma

Zoals bij de meeste moderne radiosystemen wordt een GPS (Global Positioning System)-ontvanger in de radio geïntegreerd. Een van de communicatiesystemen die in het kader van dit programma zijn onderzocht is het IEEE 802.11b-systeem. De conclusie van dit programma is dat de commerciële IEEE 802.11-standaard een goed uitgangspunt is voor een radiosysteem dat geschikt is voor OVG, maar voor producten voor dit doel wel op een aantal punten extra maatregelen nodig zijn [7]:

- *Frequentieflexibiliteit:*
De gebruikte werkfrequentie kan tussen de 20 MHz en de 2,5 GHz liggen. Hierdoor kan het systeem zich beter aanpassen aan verschillende fysieke omstandigheden en omgevingen en te overbruggen afstanden.

- *"Embedded serial probe":*
Met behulp van verbeteringen aan de golfvorm en het modem wordt een veel hogere *processing gain* behaald. Het systeem is daardoor aanzienlijk beter in staat een verbinding in stand te houden. Door de hoge processing gain heeft het systeem ook gunstigere LPD-eigenschappen.
Deze processing gain bedraagt 50 dB door een zwaardere spreading code; bij de IEEE 802.11-standaard is dit slechts 10,4 dB.

- *Duale ontvangers:*
Door iedere radio met twee ontvangers uit te rusten neemt de totale capaciteit van het systeem toe. Bovendien wordt de connectiviteit van het systeem ook robuuster.

- *Beveiliging en vercijfering:*
Op het gebied van beveiliging heeft de IEEE 802.11-standaard nogal wat tekortkomingen. Er zijn wel vele standaarden die een deel van het beveiligingsprobleem oplossen.

Alle op IPSec gebaseerde oplossingen zoals van CISCO, zijn op laag 3-encryptie geënt. Een test van het Amerikaanse DoD heeft twee commerciële producten opgeleverd die geschikt worden geacht voor het uitwisselen van vertrouwelijk DoD-verkeer: AirFortress en Cranite [14].
In de Verenigde Staten is op dit gebied de standaard FIPS 140-2 (Federal Information Processing Standard) de norm geworden. Als een op WLAN gebaseerd product aan deze standaard voldoet kan het gebruikt worden voor vertrouwelijk overheidsverkeer. Het Amerikaanse Harris heeft een product op de markt gebracht (Secnet 11 plus) dat een accreditatie voor Type I encryptie tot level Secret heeft verkregen van het National Security Agency (NSA) in de Verenigde Staten (zie ook verder in deze paragraaf).

Naast bovenstaande aanvullingen voorziet IEEE 802.11 al in de volgende eisen die binnen het SUO-SAS radiosysteem gesteld worden:

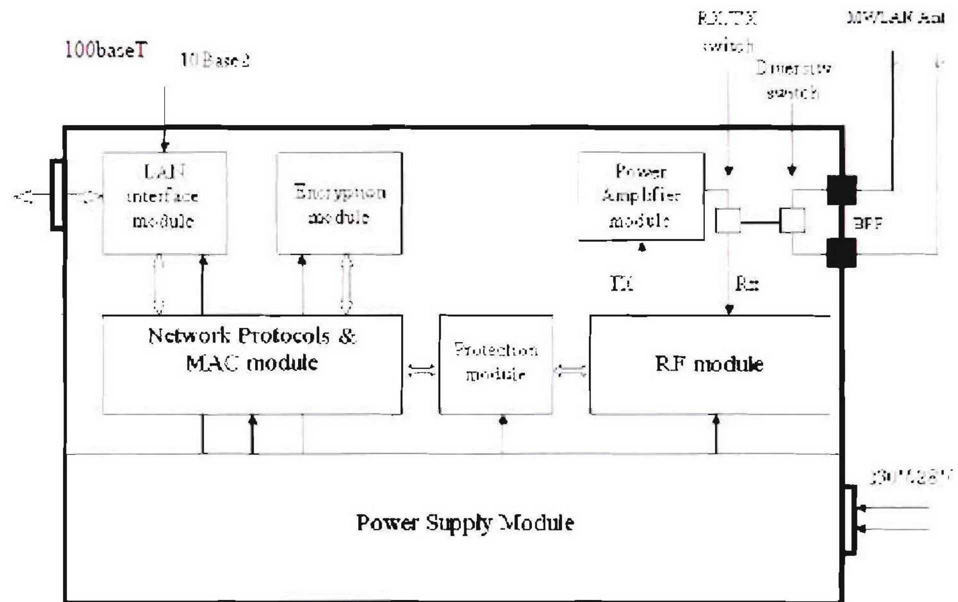
- *Flexibiliteit in transmissiesnelheid:*
Gestreefd wordt naar constante betrouwbaarheid waarmee pakketten worden overgestuurd. Om dit te bereiken neemt de transmissiesnelheid af als de propagatie-omstandigheden verslechteren.

- *Adaptief vermogensgebruik:*
Door het adaptief gebruik van zendvermogen kan het bereik worden gecompenseerd voor problematische verbindingen. Door niet meer vermogen te gebruiken dan nodig is neemt bovendien de totale storing in het systeem af en daarmee weer de gemiddelde capaciteit toe (standaard in IEEE 802.11a-supplement). Deze maatregel heeft als nadeel dat dit niet bruikbaar is als er multicast- of broadcast-data moet worden verstuurd.

Het SUO-SAS radiosysteem is nog in ontwikkeling. In vergelijking met de civiele IEEE 802.11-standaard zijn zeer fundamentele aanpassingen aan de golfvorm en het MAC-protocol gedaan. De vraag is of door al deze aanpassingen het systeem toch weer niet even duur wordt als traditionele militaire radiosystemen.

Elbit
Deze firma heeft een militaire versie van WLAN ontwikkeld onder de naam MWLAN. Het hart van hun systeem bestaat uit een zelf ontwikkelde FPGA (Field-Programmable Gate Array) gebaseerd op de IEEE 802.11-standaard. Op deze wijze is Elbit in staat de standaard aan te passen aan specifiek militaire eisen. De netwerk- en de medium toegangsprotocollen zijn in deze eigen FPGA uitgevoerd en is het systeem robuuster gemaakt tegen interferentie van andere WLAN-systemen die in dezelfde band werken. Ook is het vermogen vergroot waardoor het bereik van het systeem aanzienlijk toe is genomen, waardoor anderzijds het product buiten de VS niet bruikbaar is.
Door de combinatie van COTS-technologie en eigen ontwikkeling is op deze wijze een relatief goedkope radio gemaakt. In dit product zijn echter niet alle zwakheden

van de eigenlijke 802.11b-standaard opgelost, want de encryptie-module is een standaard AES (Advanced Encryption Standard) vercijferingsproduct.



Figuur 3-7: Systeemconfiguratie Elbit MWLAN

Figuur 3-7 geeft schematisch weer hoe het MWLAN (Military Wireless Local Area Network)-systeem van Elbit is opgebouwd. De RF-module is een standaard IEEE 802.11b-module. Door middel van een aparte vermogensversterker wordt het vermogen van 100 mW, zoals toegelaten in de ISM-band in Europa, versterkt tot 4 W. Hierdoor is het systeem echter niet meer voor gebruik buiten de VS toegelaten! Een andere verbetering is een modern routeringsalgoritme voor ad hoc-netwerken gebaseerd op AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector).

Kongsberg

Dit bedrijf heeft voor NC3A een studie verricht voor het aanpassen van de IEEE 802.11-standaard voor gebruik in de militaire band I (225-400 MHz). Op basis van deze studie heeft Kongsberg een prototype van een militair WLAN-systeem ontwikkeld. Het product is vergelijkbaar met de MWLAN van Elbit. De ontwikkeling lijkt op dit moment minder ver te zijn dan die van de MWLAN, waarvan al prototypes voor testen beschikbaar zijn. Het belangrijkste verschil met de MWLAN is dat Kongsberg ook de RF-module heeft aangepast. Hierdoor is het ook mogelijk het RF-gedrag van het systeem te beïnvloeden. De gebruikte frequentieband is omlaag geschoven naar Band I (220-400 MHz). Door de combinatie van de lagere zendfrequentie, lagere transmissiesnelheid en een groter zendvermogen zijn de te overbruggen afstanden aanzienlijk groter dan bij IEEE 802.11b mogelijk is. Met gebruik van geschikte antennes kunnen er verbindingen met een bereik tot 20 km en met een capaciteit van 120 kbit/s mee worden gemaakt. Een tweede voordeel van de mogelijkheid het RF-gedrag te veranderen is

dat het frequentiebeslag geregeld kan worden. Voor het IEEE 802.11b-supplement is 22 MHz frequentieruimte nodig voor één kanaal. In de militaire Band I is het onmogelijk zoveel frequentieruimte beschikbaar te hebben. Door het terugbrengen van de integrale *over-the-air* transmissiesnelheid is het echter mogelijk om het bandbreedtebeslag naar behoefte te verminderen. Op deze wijze kan het product binnen 1,75 MHz bandbreedte werken, een bandbreedte die binnen de militaire Band I is in te passen.

Marconi Selenia H4855 Personal Role Radio (PRR)

Deze zeer eenvoudige radio gebaseerd op IEEE 802.11 is vooral geënt op digitale spraakuitwisseling. Via een aparte aansluiting is externe data-apparatuur aan te sluiten. Een keuze kan worden gemaakt uit 12 vaste kanalen van elk 3 MHz breed. Deze relatief goedkope radio is daarmee wel zeer gemakkelijk te storen en gevoelig voor interferentie. Ook ontbreken COMSEC-voorzieningen. De radio simuleert een CNR in de reguliere ISM-band. De data rate is ongeveer 50 kbit/s.



Figuur 3-8:: Marconi Selenia H4855 PRR

Figuur 3-8 geeft een indruk van de geringe afmetingen van deze PRR.
De Marconi Selenia H4855 PRR is voor verkennende proefnemingen door het C2SC aangeschaft.

Harris/ SecNet 11 Plus

Het SecNet 11-product van Harris [14] richt zich op COMSEC/TRANSEC op militair niveau. Dit product wordt reeds geleverd aan de Amerikaanse overheid. Het radiogedrag van de WLAN-standaard wordt vrijwel ongemoeid gelaten. In de 2,4 GHz-band is de te overbruggen afstand dan ook even beperkt als die van de standaard-WLAN. Met behulp van vermogensversterkers en richtantennes is dit bereik eventueel op te voeren tot 15 km bij helder weer en een *line-of-sight* verbinding. Dit geldt vanwege de regelgeving alleen voor gebruik in Amerika en zolang er geen andere 2,4 GHz-apparatuur (magnetrons, Bluetooth, satelliet, militaire Personal Role Radio) in de nabijheid is.
Door de COMSEC is het product door de National Security Agency toegelaten voor gebruik tot STG ongeclassificeerd (wordt aan gewerkt), NATO Secret en US secret. Zowel de inhoud van de pakketten als ook de adressen van afzender en ontvanger en de WLAN-signalering worden vercijferd. Hierdoor is bijvoorbeeld verkeersanalyse door derde partijen moeilijker.

Voor NATO-partners is het product SecNet 11 ontwikkeld dat NATO-accreditatie tot level NATO Secret heeft gekregen. Dit is het eerste WLAN-product dat in de Verenigde Staten in een militaire omgeving is toegestaan. SecNet 11 kan zowel als ad hoc- als infrastructuurtopologie gebruikt worden (zie Figuur 3-9). In deze laatste

topologie moeten dan wel alle *access points* ook met een SecNet 11-kaart worden uitgerust.

Ad Hoc Network   Infrastructure Network



Figuur 3-9: SecNet 11 werkt zowel als ad hoc- als infrastructuurtopologie

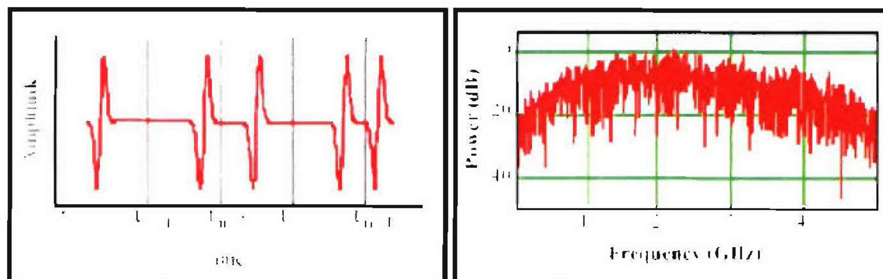
Als algemene conclusie ten aanzien van genoemde producten kan gesteld worden dat een goede combinatie zou bestaan uit een product dat zowel de robuuste beveiliging van SecNet11 heeft als ook het flexibele radiogedrag van Kongsberg. Deze combinatie gaat echter al, ook qua kosten, snel in de richting van een militaire dataradio. Verwacht mag dan ook worden dat ook in de periode 2010-2015 militaire radio's en eenvoudigere maar goedkopere WLAN-varianten naast elkaar zullen blijven bestaan.

3.5 Ultra Wideband (UWB)

3.5.1 Toelichting op UWB

Ultra Wideband (UWB) is een modulatietechnologie die fundamenteel verschilt van de momenteel gangbare waarbij altijd één of meer vastgestelde draaggolven wordt of worden gebruikt. UWB is gebaseerd op het uitzenden van zeer smalle pulsen, korter dan 1 ns. In het frequentiebereik ontstaat hierdoor een zeer brede band, vaak meerdere GHz breed, met een zeer lage vermogensdichtheid. De naam Ultra Wideband komt van deze grote bandbreedte. Een illustratieve inleiding in UWB is te vinden in referentie [17]. Er kunnen snelheden van vele megabit/s worden gehaald op deze manier op niet al te grote afstanden. UWB lijkt dan ook voornamelijk geschikt voor allerlei binnenhuistoepassingen.

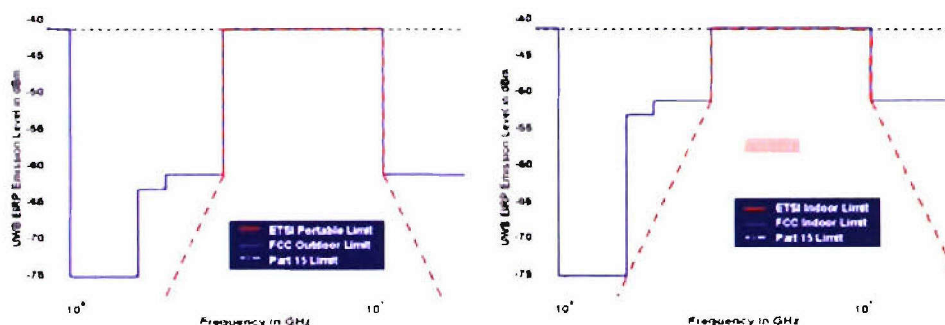
De informatie wordt overgezonden door de pulsen te manipuleren.
Eén manier is de positie van de pulsen steeds wat naar voren of naar achteren te schuiven in de tijd al naar gelang er een '1' of een '0' wordt overgezonden (pulspositie modulatie, zie Figuur 3-10).
Een tweede manier is de amplitude van de pulsen aan te passen (pulsamplitude modulatie). Beide manieren vallen onder het verzamelbegrip *pulsmodulatie*.



Figuur 3-10: De smalle pulsen van pulspositie modulatie en het bijbehorende frequentiespectrum

De meeste praktische UWB-systemen vormen een combinatie van pulsmodulatie en frequentie *up-conversion*. Een nieuwere vorm van zeer breedbandige modulatie gebaseerd op OFDM heeft de laatste jaren aan invloed gewonnen. Dit komt onder meer door de regelgeving op het gebied van UWB. Met behulp van OFDM is het makkelijker bepaalde frequentiemaskers te realiseren.

Het zeer brede spectrum, minimaal 500 MHz volgens de definitie van UWB, zorgt ervoor dat de vermogensdichtheid zeer laag kan blijven. Hierdoor kan UWB dwars door alle frequentiebanden heen gebruikt worden zonder dat het de signalen die daar zitten al te zeer stoort. UWB werkt dus 'onder de ruis'. Bij een grote dichtheid van UWB-systemen echter, kan het totale stoorniveau in de verschillende frequentiebanden toch merkbaar worden. Om bepaalde zeer gevoelige diensten zoals GPS te beschermen zijn er door de FCC en ETSI frequentiemaskers afgesproken waaronder een UWB-apparaat moet werken (zie Figuur 3-11).



Figuur 3-11: Emissielimieten voor UWB zoals vastgesteld door ETSI en FCC.

UWB is oorspronkelijk gebruikt voor radartoepassingen om door muren of zelfs onder de grond waar te nemen. Naderhand is het ook gebruikt voor plaatsbepaling. Communicatiesystemen op basis van UWB worden momenteel aangekondigd, maar zijn nog niet commerciëel verkrijgbaar. Vaak zijn het combinaties van communicatie- en plaatsbepalingssystemen. Door de hoge plaatsbepalingsresolutie die mogelijk is met de zeer snelle pulsen is het relatief eenvoudig de onderlinge posities in een netwerk in kaart te brengen, vaak zelfs tot op enkele cm's nauwkeurig.

In de RTO-studie naar OVG in 2020 [1, pag. 35] wordt expliciet voorzien dat UWB voor communicatie binnen OVG zal worden gebruikt. In deze studie wordt UWB niet alleen voorzien voor indoor-communicatie maar zelfs ook voor outdoor-communicatie. Dit laatste zou goed aansluiten op de operationele behoefte maar het is twijfelachtig of deregelijke UWB-systemen al rond 2010 een hogere reikwijdte dan ca. 100 meter zullen hebben.

3.5.2 UWB en OVG

In een verstedelijkt gebied waar voor radiogolven veel hindernissen zijn en veel multipad optreedt, kunnen de karakteristieken van UWB theoretisch voordelen bieden boven gangbare, op frequentiedraaggolven gebaseerde systemen. Theoretische voordelen die in een OVG-optreden van belang zouden kunnen zijn, zijn de volgende:

- Door het gebruik van de zeer korte pulsen is een UWB-signaal veel minder gevoelig voor multipadeffecten dan een smalbandig signaal. Fading speelt bijvoorbeeld helemaal geen rol bij UWB-transmissie. In sommige gevallen kan de energie van een gereflecteerd signaal zelfs gebruikt worden om de ontvangst robuuster te maken. Er spelen wel andere multipad-effecten een rol, maar theoretisch kan daarvoor gecompenseerd worden als de radio voldoende rekencapaciteit heeft;
- Door de zeer lage vermogensdichtheid heeft UWB inherent een goede LPD en LPI;
- Door het brede frequentiespectrum zal een deel van het signaal, via reflecties of direct, meer kans hebben de weg van zender naar ontvanger af te leggen dan bij een smalbandig systeem het geval is. Door een goed systeemontwerp zou in een dergelijke situatie toch nog een beperkte verbinding mogelijk zijn;
- Door het zeer brede spectrum dat gebruikt wordt is het signaal moeilijk te jammen. Door deze eigenschap en de ligging van het signaal in het frequentiegebied is UWB ook niet gevoelig voor *man-made noise* in een verstedelijkte omgeving;
- UWB gebaseerd op pulsmodulatie biedt ook ondersteuning voor plaatsbepaling. De positie van iedere radio in het netwerk kan uit de UWB-signalen worden afgeleid. Op deze wijze zijn er resoluties mogelijk van enkele centimeters.

Ondanks deze theoretisch voordelen die worden genoemd in de literatuur voor het gebruik van UWB in OVG komen er vrijwel geen praktische toepassingen voor communicatie beschikbaar. Alleen de goede LPI/LPD-eigenschappen hebben tot een toepassing geleid binnen het Amerikaanse JTRS-programma [18]. Binnen de belangrijkste golfvorm van dit programma, de Wideband Networking Waveform (WNW), is een aparte UWB-modus geïntroduceerd vanwege de LPI/LPD-eigenschappen. Deze toepassing is overigens niet specifiek op OVG gericht. Sommige toepassingen waarbij gebruik wordt gemaakt van de mogelijkheid plaatsbepaling uit te voeren met behulp van UWB, lijken veelbelovend.

Het belangrijkste succes van UWB lijkt vooralsnog op een ander gebied te liggen. Door de UWB-lobby is succes geboekt in diverse standaardisatie-commissies in de Verenigde Staten. Voor heel hoge data rate netwerken met snelheden tot honderden Mbit/s zal UWB opgenomen worden in de IEEE 802.15.3a-standaard. Een systeem met een iets lagere data rate, gecombineerd met plaatsbepaling, wordt gestandaardiseerd in IEEE 802.15.4a. Het bereik is echter gering: de 802.15 standaard richt zich op wireless personal area networks (WPANs) met afstanden tot 100 meter.

3.6 Mogelijke toepassing van publieke cellulaire technologie voor OVG

Hoewel de toepassing van publieke cellulaire technologie in OVG niet is onderzocht in deze studie, zijn recente ontwikkelingen waargenomen die mogelijk van belang kunnen zijn voor een kosteneffectieve ad interim-realisatie van verbindingen in OVG en daarom in dit rapport kort vermeld worden.

In concreto betreft het de mogelijkheid om VoIP over GPRS te realiseren. Ten aanzien van de GPRS-infrastructuur kunnen sinds kort alle GPRS-componenten door andere partijen dan operators worden aangekocht. Hierdoor kan een GPRS-netwerk in eigen beheer ingezet, beheerd en onderhouden worden. Voor het verkrijgen van een goede indoor verbindingsbeschikbaarheid kunnen man-transportable GSM-repeaters en -antennes worden ingezet. In het operatiegebied kan (voor grotere afstanden dan enkele kilometers) via eigen, truck-transportable basisstations verbinding worden gemaakt naar de rest van het GPRS/GSM netwerk.

De toepassing VoIP over GPRS biedt de mogelijkheid om gesloten gebruikersgroepen met *push-to-talk* functionaliteit in te stellen (in tegenstelling tot b.v. GSM, die overigens ook geen push-to-talk functie heeft). Aangezien GPRS na één maal aanmelden altijd aan staat, kunnen theoretisch broadcasts binnen de groep zelfs door de spraak zelf worden geactiveerd.
Door toepassing van IP naast spraak wordt ook potentieel geboden voor de toepassing met datacommunicatietechnologie zoals in BMS en SDA geïmplementeerd. Ook worden mogelijkheden ten aanzien van beheer geboden (opslag berichten voor *after action review*). Deze oplossing is compatibel met toekomstige cellulaire netwerken zoals UMTS.

Belangrijke kanttekeningen van deze mogelijke ad interim-oplossing vormen de nog vast te stellen VoIP-responsietijden, de peilbaarheid en de stoorbestendigheid. De twee laatste eigenschappen hangen sterk samen met het frequentiegebruik van publieke cellulaire netwerken. Het is echter niet uit te sluiten dat speciale uitvoeringen van dit soort systemen op termijn ook voor Defensie en

Maatschappelijke Veiligheid-toepassingen beschikbaar komen, zoals nu al WLAN-producten op andere dan de ISM-frequenties worden gerealiseerd.

3.7 Conclusies WLANs en WLAN-varianten

Voor OVG zal de huidige IEEE 802.11-standaard voor zowel de onderlinge communicatie in een uitgestegen groep als helemaal voor communicatie van een commandant met het eerstvolgende niveau niet toereikend zijn.
Aanpassingen zijn in de eerste plaats nodig om het bereik in verstedelijkte gebieden en de bestendigheid tegen interferentie, peiling en opzettelijke storing te vergroten. Dit zal moeten plaatsvinden in de grenzen van de regulering van zendvermogen, frequentiegebruik en bandbreedte. Tevens is het noodzakelijk dat de transmissiecapaciteit zich automatisch aanpast aan datgene, dat mogelijk is in een sterk wisselend en moeilijk voorspelbare omgeving als een stedelijk of bebost gebied. Het is daarbij onontkoombaar dat men genoegen moet nemen met een doorvoercapaciteit die eveneens sterk kan wisselen. Dit effect wordt in een ad hoc-topologie versterkt waarbij in aanwezigheid van transietverkeer de capaciteit per deelnemer drastisch kan dalen. Ook op het gebied van beveiliging zijn de bestaande WLAN-protocollen niet zonder meer bruikbaar. Hierbij is het belangrijk wat de levensduur van informatie is die in OVG wordt uitgewisseld. Als deze te kort is heeft een zwaar vercijferingsmogelijkheid geen zin. Als zware vercijfering naast LPD en robuustheid tegen interferentie en jamming een vereiste is, tenderen veel producten al snel naar een specifieke, relatief kostbare militaire radio, zoals de dataradio- zeker indien een grotere gebiedsbedekking in combinatie met mobiliteit vereist is.
Om dit laatste te verwezenlijken worden van een dataradio-systeem de access points (in dataradio-terminologie "cluster heads" genoemd) onderling draadloos gekoppeld.

Als basis voor militair bruikbare producten is de civiele WLAN-standaard evenwel bruikbaar. Daarbij zijn bepalende kenmerken van geheel of gedeeltelijk op IEEE 802.11 gebaseerde producten dat het voor alle verkeerssoorten (data en spraak) geënt is op IP en de mogelijkheid om een WLAN zowel als ad hoc-topologie als infrastructuurtopologie te ontplooien. Het feit dat het aantal leden per team beperkt is houdt in dat in principe goed gebruik kan worden gemaakt van de combinatie met bestaande IP-technologieën (VoIP, RTP en (reliable) IP Multicast) voor bevelvoering en coördinatie tussen teamleden. Voor de topologie geldt het volgende:

- De ad hoc-topologie sluit qua flexibiliteit en configureerbaarheid/autonomie (alternatieve verbindingen en automatische, "meereizende" radiodekking) aan bij communicatie binnen de uitgestegen groep in OVG. Het nadeel van deze topologie is dat extra voorzieningen moeten worden getroffen om op basis van *push-to-talk* te kunnen communiceren, waarbij de geïntroduceerde *net master* een SPOF vormt. Afhankelijk van de wensen kan via een extra in

te brengen routeringsfunctionaliteit de directe bereikbaarheid over grotere afstanden worden gerealiseerd.

- De infrastructuurtopologie zonder vaste infrastructuur (en dus met één *access point*) is een ander alternatief als geen grote gebiedsdekking benodigd is. Het voordeel is dat het *access point* de coördinatie van voor OVG benodigde *push-to-talk* binnen een team kan bewerkstelligen. Ook nu is dit echter een Single Point of Failure (SPOF).

Voor beide topologieën geldt dat maatregelen tegen de SPOF lastig zijn te implementeren.
In de beschouwde toekomstperiode mag verwacht worden dat UWB als modulatietechnologie beschikbaar is voor WLAN-varianten. Voor OVG-toepassing is UWB-modulatie alleen bruikbaar voor communicatie binnen een team. Dan zal verbetering verwacht mogen worden op de gebieden storings- en interferentiebestendigheid, LPD/LPI en verbindingsbeschikbaarheid. Tenslotte biedt UWB tevens de mogelijkheid voor goede relatieve plaatsbepaling in een indoor-omgeving waar GPS-signalen moeilijk zijn te ontvangen. Als ad interim-oplossing zou het gebruik van publieke cellulaire technologie eventueel in overweging genomen kunnen worden, waarbij evenwel concessies worden gedaan op het gebied van peilbaarheid, stoor- en interferentiebestendigheid en wellicht ook ten aanzien van responsietijden. Het is echter niet uit te sluiten dat dit soort systemen in gemodificeerde, specifieke uitvoeringen op termijn ook voor Defensie en Maatschappelijke Veiligheid-toepassingen beschikbaar zal komen.

Samengevat geldt ten aanzien van de keuze voor een specifiek op IEEE 802.11-gebaseerd systeem of specifieke militaire radio voor OVG een overweging moet worden gemaakt op de volgende gebieden:

De vereiste robuustheid:
- Belang van zware vercijfering;
- Belang van bestendigheid tegen peiling;
- Belang van bestendigheid tegen interferentie;
- Belang van bestendigheid tegen storing;
- Omvang van de gewenste (betrouwbare) gebiedsdekking indoor en outdoor.

De te ondersteunen topologie (ad hoc/ infrastructuur):
- Gewenste wijze van communiceren (*push-to-talk* of gelijktijdige communicatie);
- Gewenste flexibiliteit (verbindingsredundantie en met het team "meereizende dekking") en daarbij goede configureerbaarheid/ autonomie;
- Eis om direct informatie van een teamlid direct naar hoog commandoniveau te transporteren.

Hanteerbaarheid:
- Omvang, stroomverbruik en bedieningsgemak van alle systeemdelen.

Bij een systeemkeuze voor de periode 2010-2015 spelen naast operationele zeker ook financiële aspecten een rol, met name bij de fundamentele keuze voor een geavanceerde maar kostbare militaire radio (waarschijnlijk gebaseerd op JTRS (zie Hoofdstuk 5) en mogelijk ook met UWB-technologie) of een eenvoudigere maar goedkopere WLAN-variant.

4. Communications Relay-enabled Unmanned Aerial Vehicles

4.1 Inleiding

Een UAV (Unmanned Aerial Vehicle) is per definitie een onbemand, herbruikbaar en *gemotoriseerd* luchtvaartuig [19]. Dit houdt dus in dat passieve platforms, dus alle soorten luchtballonnen, niet in deze studie in beschouwing zijn genomen. Wel kunnen UAVs zowel autonoom, semi-autonoom als op afstand bestuurd zijn of zelfs een combinatie van deze mogelijkheden bezitten.
UAVs kunnen uitgerust zijn met diverse verschillende typen *payloads* zodat zij specifieke taken kunnen verrichten in bepaalde fasen van hun missie. De meeste UAVs zijn ingericht voor de ondersteuning van ISR-missies. Daarnaast worden de functies EOV (Elektronische Oorlogvoering) en airborne communicatie-relay voor communicatie buiten objecten, steeds vaker toegepast. Deze laatste functie in OVG is in deze studie uitgebreid bekeken. Ook in de RTO-studie naar OVG in 2020 wordt melding gemaakt van de toekomstige inzet van multi-role UAVs [1].

Naast UAVs bestaan ook UCAVs: Uninhabited Combat Air Vehicles. Dit zijn wat kleinere UAVs die specifiek zijn ontworpen voor offensieve inzet en vliegen op grote hoogte. De hardkill-functie van dit type UAV is ook interessant voor kleinere, meer fysiek kwetsbare communicatie-UAVs vanuit het oogpunt van zelfverdediging. In het vervolg van dit rapport wordt een UAV die de functie airborne communicatierelay heeft, algemeen aangeduid als communications relay-enabled UAV of kortweg communicatie-UAV, ongeacht of het is uitgerust met zelfverdedigingsmaatregelen of niet. Ook is het goed mogelijk dat een communicatie-UAV ook andere payloads heeft zoals ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance) en EOV.

Een nadere typering van UAVs wordt gewoonlijk meestal gemaakt naar omvang/gewicht en de tijd dat een UAV achtereen operationeel kan zijn. Een dergelijke indeling is gegeven in Bijlage A. Deze indeling staat dus los van de aard van de payload (ISTAR, EOV, communicatie).

4.2 Operationele toepasbaarheid communicatie-UAVs in OVG

In OVG ofwel MOUT (Military Operations in Urban Terrain) ontstaat door een aantal oorzaken "shadow distance" [22]. Dit is een figuurlijke 'afstand' die symbool staat voor de beperkte cohesiemogelijkheden tussen eenheden. Deze oorzaken kunnen variëren van de plotselinge transformatie van de civiele (locale) bevolking naar een militaire eenheid tot aan de beperking in de beschikbaarheid

van radioverbindingen door toedoen van gebouwen. UAVs zouden een gehele of gedeeltelijke oplossing van meerdere van deze oorzaken kunnen betekenen, eventueel in combinatie met UGVs (Unattended Ground Vehicles) en UGSs (Unattended Ground Sensors). Te denken valt aan ondersteuning van intelligence, reconnaissance en bewaking zoals de Amerikanen al met de *Sentry Owl* realiseren en niet in de laatste plaats als radio relay om obstructies te verminderen of zelfs te omzeilen.
Voor de communicatie binnen een object zullen aanvullende maatregelen nodig zijn, zoals repeaters bij de ingang van het object en indien nodig, ook meerdere in het object zelf. Deze benadering is door het Army Research Laboratory (ARL) uitgetest en voldoet. Een andere mogelijkheid (nog niet getest) is om gebruik te maken van de afstraling van de energiebekabeling binnen gebouwen.

4.3 Sterke en zwakke punten

Voor de identificatie van de sterke en zwakke punten van communicatie-UAVs wordt impliciet gebruik gemaakt van de in Hoofdstuk 2 opgestelde technisch-operationele aspecten. Het ligt daarbij voor de hand de voor- en nadelen van communicatie-UAVs te relativeren aan de eigenschappen van satellietcommunicatie (SATCOM) omdat qua functionele eigenschappen een communicatie-UAV dicht bij SATCOM komt, zeker voor wat betreft de belangrijke eis van verbindingsbeschikbaarheid. SATCOM is juist om deze reden dan ook in vele landen geprocureerd voor militair gebruik binnen alle krijgsmachtdelen.
Opmerking: algemeen wordt HF-radio in skywave mode niet als een gelijkwaardig alternatief gezien vanwege de beperkte en onzekere transmissiecapaciteit, de hoge zendvermogens die zijn vereist en daardoor de grote omvang van de radio-apparatuur. Daarbij moet wel worden aangetekend dat een operationeel voordeel van skywave HF-radio boven zowel SATCOM als communicatie-UAVs is dat een lucht-/ruimtesegment ontbreekt en er dus geen SPOF aanwezig is.

Voordelen communicatie-UAVs ten opzichte van SATCOM:

- De kortere afstand van de gebruikersterminal/radio tot de communicatie-UAV waardoor veel minder zendvermogen benodigd is. In [23] wordt voor SHF-frequenties een verschil genoemd van 30 dB (dit geldt voor een HALE (High Altitude Long Endurance UAV); voor SUAVs (Small UAVs) is dit verschil zelfs nog meer). Dit zou enerzijds gunstige consequenties hebben voor de levensduur van de acculading en/of voor de zwaarte van de accu van de terminal. Anderzijds kan dit inhouden dat men met vermogens zoals gebruikelijk voor SATCOM-gebruikersterminals, extra demping door objecten (bossen, gebouwen) zou kunnen overwinnen. De verdeling over deze voordelen is afhankelijk van het systeemontwerp.
  De randvoorwaarden bij het systeemontwerp zijn vereiste bandbreedte, gewenste grootte van de radio (bepaalt maximaal zendvermogen) en de combinatie van de

verwachte gebieden, -vlieghoogten en -toelaatbare slant ranges (rechtstreekse afstanden van het dekkingsgebied tot de communicatie-UAV). Genoemde combinatie bepaalt de propagatiedemping die aan zekere spreiding en inschatting onderhevig is. Dit houdt in dat een marge altijd in rekening moet worden genomen voor de bepaling van een aanvaarbare verbindingsbeschikbaarheid: als deze marge te klein is zal door toedoen van objecten of eventuele verandering in slant range een kans bestaan dat de verbinding voor bepaalde tijd niet beschikbaar is;

- Het gemis van de grote vertraging van geostationaire SATCOM waardoor tijdkritische (*real time*) diensten mogelijk worden. De hiervoor benodigde bandbreedte is bij toekomstige toepassing van hogere SHF-frequenties en EHF in principe beschikbaar te maken.
  Opmerking: voor communicatie via UAVs in OVG biedt EHF nog andere mogelijke voordelen, zoals beschreven onder Paragraaf 4.4.3;
- De mogelijkheid de communicatie-UAVs (zelf) optimaal te positioneren ten opzichte van het gewenste dekkingsgebied, waarbij altijd een compromis gevonden moet worden tussen de reductie van de fysieke kwetsbaarheid en minimalisering van de *slant range*. Daarbij kunnen horizoneffecten zoals deze kunnen optreden bij SATCOM worden vermeden;
- Vooral voor kleinere typen UAVs zoals de SUAVs geldt dat men dit middel niet met derden hoeft te delen en het onderhouden, veranderen en herconfigureren van de payload in eigen hand ligt en hoe dan ook veel eenvoudiger is dan bij SATCOM;
- Zeker bij tactische communicatie-UAVs is het mogelijk dat het systeem compatibel is met terrestriale radio's en niet altijd per definitie specifieke gebruikersterminals noodzakelijk zijn, zoals bij SATCOM. Dit hangt echter af van de hoogte waarop de UAV opereert, de netto-gevoeligheid van de communicatie-payload, de gebiedsdekking in combinatie met de radiofrequentie en het stralingspatroon van de gebruikersterminal;
- Voor wat betreft de infrastructuur en topologie van communicatie-UAV systemen geldt dat er in principe meer vrijheid is in de bepaling hiervan dan voor (bestaande) SATCOM-systemen. Men kan kiezen voor meerdere UAVs die al dan niet gekoppeld zijn op gelijk niveau of, op hiërarchische wijze, via een *multi-tier* airborne communicatienetwerk (via andere communicatie-UAVs en/of via satellieten) voor grotere operaties. In dit laatste geval wordt veelal gesproken van een Air Mobile Backbone (AMB). In het Amerikaanse DARPA-programma AJCN (Adaptive Joint C4ISR Node) onderzoekt men hoe een dergelijk hiërarchisch airborne netwerk gerealiseerd kan worden [37] (belangrijk daarbij is de eis dat de UAV-verbindingen JTRS-compatibel moeten zijn. JTRS als basis voor de ACP (Air Communications Payload) is gedefinieerd in Cluster 5 (Small Form Fit), waarbij in de toekomst voor ca. 4-5 waveforms zullen worden ondersteund).
  Voor de OVG-toepassing zou men SUAVs kunnen koppelen om verbindingen naar andere (gelijkwaardige of hogere) eenheden tot stand te brengen.

Nadelen communicatie-UAVs ten opzichte van SATCOM:

- In principe zijn met name SUAVs redelijk tot goed waarneembaar voor de vijand. Dit is te bestrijden door camouflage;
- Kwetsbaarheid voor zowel vijandelijk als eigen geschut. Dit is te bestrijden door (een combinatie van) self-protection maatregelen en redundantie (zoals VS toe gaat passen);
- Grondgebonden assets en terzake kundig personeel zijn noodzakelijk en bijgevolg ook training en opleiding. Weliswaar moet worden opgemerkt dat voor SATCOM ook grondgebonden middelen noodzakelijk zijn, maar communicatie-UAVs zullen eerder als additioneel dan als vervangend moeten worden gezien, zeker als het gaat om toepassing van vooral de kleinere SUAVs in OVG;
- De endurance voor een UAV is vaak nogal beperkt (zie ook Bijlage A). Deze is meestal afgestemd op de verwachte duur van de missie. Een UAV wordt meestal door een fossiele brandstof of door zonne-energie aangedreven;
- Er moet rekening worden gehouden met Air Traffic Control regels en in internationale optredens co-ordineren met mogelijk andere communicatie-UAVs. NATO geeft hier wel richtlijnen voor;
- Nog relatief nieuwe technologie voor toepassing in OVG waarin veel obstakels aanwezig zijn. Zeker voor SUAVs kan dit op zich een probleem vormen en vereist robuuste auto-navigatie en collission avoidance (o.a. in ontwikkeling in NASA-programma Intelligent Systems);
- In principe is de uitrichting van een gebruikersterminal naar de communicatie-UAV, zeker naar een SUAV, wat kritischer dan voor een geostationair SATCOM-ruimtesegment. Dit is echter afhankelijk van de toegepaste radiofrequentie in combinatie met de stralingseigenschappen van de antennes van het ruimtesegment en van de gebruikersterminal. Bovendien is dit effect te bestrijden doordat de plaatsing van een kleine communicatie-UAV (binnen de grenzen van de omgeving) zelf wordt bepaald.

Ten opzichte van SATCOM neutrale eigenschappen van communicatie-UAVs:
In relatie tot SATCOM is op de volgende gebieden geen duidelijk, substantieel of overtuigend voor- of nadeel van communicatie-UAVs te onderkennen:

- het opzetten van individuele verbindingen. Doordat voor UAV-connecties de totale lengte van de verbindingen veel korter is dan van geostationaire SATCOM zouden sessies via communciatie-UAVs ten opzichte van SATCOM-sessies wellicht nog iets sneller kunnen worden opgebouwd;
- Idem voor interrupties en heruitzendingstijden voor vergelijkbare radiofrequenties;
- Vanuit radiopropagatie-oogpunt komen de radiofrequenties die gebruikt kunnen worden voor de communicatie via UAVs overeen met die voor SATCOM (in de banden UHF, SHF (7 en 8 GHz) en EHF(45 en 20 GHz)). Vanuit regelgeving is er wel een verschil: de mondiale toewijzing (via de ITU (International Telecommunications Union) Radio Regulations) voor SATCOM

vindt plaats op basis van de rubriek 'Space Services', die voor UAVs op basis van 'Aeronautical Mobile';

- Mobiliteit wordt ondersteund door beide systemen, waarbij SATCOM door de grootte van de *footprint* een voordeel lijkt te hebben in vergelijking tot een communicatie-UAV. In OVG is dit voordeel waarschijnlijk relatief aangezien de operationele afstanden tussen de kleinere eenheden ruim binnen 5 km liggen;
- Ervan uitgaande dat (getuige zowel de ambities van en huidige ontwikkelingen binnen de Nederlandse krijgsmacht als de mondiale telecommunicatietrends) IP als netwerk-protocol wordt genomen, zullen onderlinge verschillen in andere protocollen zoals op het gebied van medium toegang (MAC), routering et cetera met die voor conventionele SATCOM bepaald worden door de opzet van het totale communciatie-UAV systeem. Inzien dit systeem een hiërarchische topologie met ad hoc karakter ondersteunt, zijn zeker verschillen te verwachten [24]. Hiërarchische netwerken met communicatie-UAVs (zie Figuur 4-1) hebben het voordeel dat lokaal verkeer via de eerste laag (door de 'lokale UAVs') kan worden afgehandeld waardoor een efficiëntere afhandeling van de verkeersbelasting tot stand wordt gebracht.



Figuur 4-1: Hiërarchische tactische netwerken met communicatie-UAVs

In de periode 2010-2015 mag verwacht worden dat juist in OVG veelvuldig van sensoren (zoals UGSs) gebruik wordt gemaakt. Hierbij zal informatie over gebouwen, tunnels et cetera autonoom kunnen worden doorgegeven via het netwerk aan de commandant op het juiste niveau of direct aan de teamleden [25]. Deze gegevens zullen een extra verkeersbelasting tot stand brengen en rechtvaardigen dus zowel een dergelijke efficiënte verkeersroutering als een relatief grote bandbreedte per gebruiker (dus hogere radiofrequenties zoals SHF en EHF);

- Via een communciatie-UAV systeem kunnen in principe dezelfde connectiviteitsvormen als bij SATCOM-systemen worden ondersteund, dat wil zeggen zowel point-to-point als point-to-multipoint verbindingen (middels IP-Multicast);
- Het is de vraag hoe de totale 'Cost of Ownership and Operation' van kleinere communciatie-UAVs uitvalt in vergelijking tot de totale (huur/lease)kosten van SATCOM-verbindingen. Richtlijn voor een SUAV is nu ca. 80 k€ per stuk, maar zal dalen als communicatie-UAVs voor militaire toepassingen in grotere volumes worden geproduceerd. Gezien de huidge trends (zie Paragraaf 4.4) is dat in de periode 2015 wel waarschijnlijk, zeker met het potentieel van communciatie-UAVs voor de civiele markt.

4.4 Trends en ontwikkelingen; oriëntatie op het buitenland

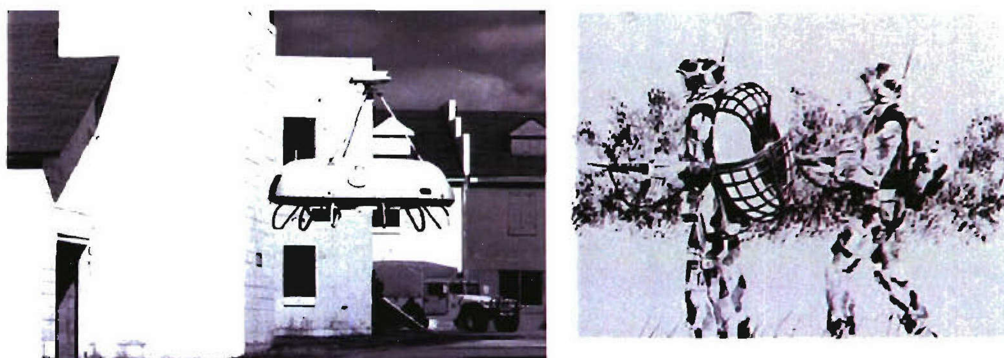
4.4.1 Verenigde Staten

Sinds laat jaren '90 tot ca. 2002 is in Amerikaanse studies en DoD-projecten (WIN-T (Warfighter Information Network- Tactical) en SUO/SAS, beide onder DARPA) een communicatie-UAV vooral gezien om over grote afstanden te communiceren, waarbij vaak grote obstakels zoals bergen moeten worden overbrugd. Deze UAVs maken deel uit van een zeer omvangrijk hiërarchisch netwerk (het zogenaamde GIG: Global Information Grid) waarbij de eerste laag bestaat uit terrestriale radio's, de tweede uit UAVs en/of helicopters en de bovenste laag uit SATCOM. Vanuit protectie-oogpunt is de UAV van oorsprong uitsluitend op zeer grote hoogte gedacht (meer dan 10 km). Met het toenemen van het aantal urbane operaties is een recente tendens, zoals onder meer tijdens de conferentie MILCOM [29][30] naar voren kwam, om communicatie-UAVs ook in te zetten om in stedelijke gebieden connectiviteit voor kleine eenheden en zelfs van individuele militairen te vergroten [36]. Dit betreft kleinere UAVs (SUAVs, Small UAVs) met beperkte vlieghoogte en inzet op pelotons- en bataljonsniveau. De relevantie van deze SUAVs in de VS wordt onderstreept door de besteding door het Amerikaanse Army Research, Development and Engineering Command's Natick Center van totaal M$ 250 in de komende vijf jaar aan de ontwikkeling van deze platforms [26]. Specifiek denkt men aan de opvolging van de Hunter door het Shadow systeem rond 2010. Een vroege versie van de Shadow heeft al in Irak dienst gedaan (Figuur 4-2). Gedacht wordt aan de inzet van 4-8 Shadows op brigade-niveau met elk een transmissiecapaciteit van ca. 16 Mbit/s [40].



Figuur 4-2: Shadow 200 tijdens lancering

Eveneens illustratief voor de vraag naar SUAVs is de uitnodiging voor technologische innovatievoorstellen op onder meer het gebied van "Unmanned Vehicles, low-altitude operation". Deze call is in november 2003 door DARPA Tactical Technology Office (TTO) uitgebracht [35]. In het bijzonder is de VTOL (Vertical Take Off and Landing) als SUAV van belang voor OVG en wordt als zodanig ook in de toekomst voorzien bij gebruik voor eenheden op pelotons- en teamniveau. In Irak heeft in 2003 de Dragoneye, die met de hand kan worden gelanceerd, bruikbare diensten bewezen op bataljonsniveau, overigens nog zonder communicatie-payload.
Een huidige VTOL die wel van een communicatie-payload kan worden voorzien, is de Cypher, die in het OVG-oefendorp in de VS, Ft. Benning, is getest (zie Figuur 4-3). Een mini-uitvoering (als backpack) is eveneens beschikbaar [41]. Problemen zijn nu het geringe maximaal payloadgewicht (20 lb.), de beperkte endurance (maximaal 2 uur) en het motorlawaai.



Figuur 4-3: Cypher VTOL (l) in gesimuleerd dorp en als portabele uitvoering (r)

Eveneens stimulerend voor de ontwikkeling van SUAVs zijn de opkomende UGVs en UGSs, die voor hun communicatie per definitie gebonden zijn aan een beperkt zendvermogen en dus aan radio's en boordaccu's van geringe afmetingen. UGVs en UGSs worden in het NEC-concept gezien als een aparte categorie die betrouwbare draadloze verbindingen behoeft [27][28]. In [36] wordt zelfs de gehele technologie-ondersteuning tijdens een OVG-missie duidelijk gemaakt aan de hand van een (fictief) urban operations scenario.
Tijdens een SMI-conferentie over Information Superiority in juni 2004 zijn door twee Pentagon-officials informele opmerkingen gemaakt over het gebruik van UAVs voor communicatie in qua radiopropagatie 'moeilijke' gebieden (i.c. bos in vochtige omstandigheden). In het kader van het DARPA-project SUO-SAS (Small Unit Operations/ Situational Awareness System) is met dergelijke UAV-verbindingen geëxperimenteerd. De bevindingen hiervan waren als volgt:

- De bereikbaarheid nam aanzienlijk toe in deze moeilijke omstandigheden in vergelijking tot die van de huidige (terrestriale) radio's;
- Er is minder vermogen nodig voor een goede bereikbaarheid;
- Kwetsbaarheid van de communicatie-UAV was waarschijnlijk geen probleem omdat de positie van dit platform een behoorlijke mate van vrijheid heeft waarbij de performance toch goed blijft; je kunt hem op een veilige plek 'ophangen';
- Deelnemers aan het experiment, operationele militairen, waren enthousiast;
- Zoals eerder in deze paragraaf al duidelijk is geworden, was los van dit experiment al besloten communicatie via de UAV een grotere prioriteit te geven in Amerikaanse programma's. Met name krijgt hierbij aandacht communicatie naar de satelliet via laser als onderdeel van de hiërchische tactische architectuur. Hiervoor is ook extra geld uitgetrokken;
- Communicatie-UAVs als tussenstations zijn op dit moment een goede kandidaat om de bandbreedte naar het achterland te realiseren. Er lopen dan ook relatief veel experimenten met videobeelden die via communicatie-UAVs gerelayeerd worden. In het kader van situational awareness en –assessment acht men dit ook van belang voor OVG.

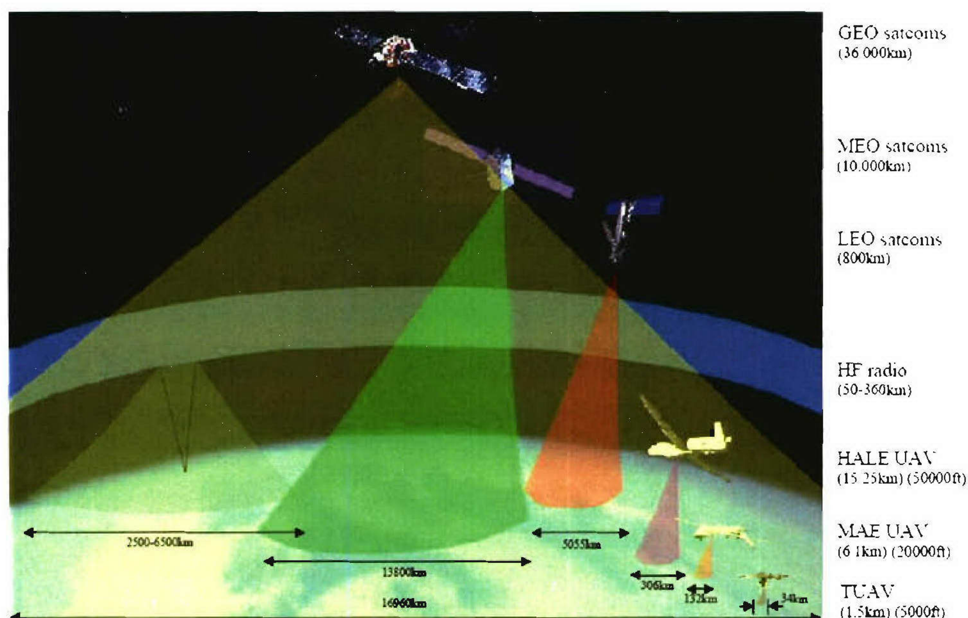
Over het algemeen reflecteren deze bevindingen vanuit de experimenten dus de positieve punten die bovenstaand zijn geïnventariseerd.

Binnen het SUO-SAS project is eerder een hiërarchisch ad hoc netwerk ontworpen en gerealiseerd voor een uitgestegen groep opererend in urbane en andere qua radiocommunicatie moeilijke omgevingen. Dit netwerk voorzag ook in de onderlinge uitwisseling van positiegegevens (binnen gebouwen, dus zonder GPS) naar de teamcommandant. Dit systeem is in oktober 2002 succesvol gedemonstreerd in het OVG-oefenterrein [8] in Ft. Benning. Hier werden nog geen SUAVs ingezet, wel gevechtshelikopters en Pointer-UAVs [29].

Met oog op bovengenoemde netwerkhiërarchie zijn in het zogenaamde Future Combat System (FCS), waarbinnen het WIN-T netwerk de over-all telecommunicatie verzorgt, drie typen UAVs voorzien [31]:

- een SUAV met een 35 kg payload en een endurance van 6-8 uur. Deze kan worden meegenomen aan boord van een groter type legervoertuig en ingezet worden in een stedelijke omgeving;
- een MAE (Medium Altitude/Endurance) UAV en
- een HA(L)E (High Altitude/(Long) Endurance) UAV met een payload-capaciteit van ca. 2000- 4000 kg.

Figuur 4-4 geeft een indicatie voor de vlieghoogten en de te verwachte *footprints*, tezamen met die van SATCOM en HF. De zogenaamde Objective Force (OF) zal in de praktijk ervaring opdoen met deze systemen.
In samenhang met de HAE wordt recent in de VS het 150 meter lange High Alititude Airship (HAA) [32] ontwikkeld en wel op consignatie van de US Missile Defense Agency (MDA). Hierbij wordt de ISTAR-functionaliteit in het kader van *Homeland Protection* gecombineerd met zowel militaire radio relay als airborne basisposten voor cellulaire civiele communicatie.
Strikt genomen gaat het hier om een tussenvorm van een communicatie-UAV en een luchtballon: de intentie is namelijk om het platform op ca. 19 km voor een jaar geostationair te houden en daarvoor is plaatscorrectie, dus aandrijving, nodig. Via zonne-energie, gegenereerd door onboard zonnepanelen wordt de energie voor de motoren en de payload verkregen. Het voornemen is om over de VS verspreid, 10 van deze HAAs te plaatsen als beschermingsschild.
Volgens [39] wordt de HAA al gezien als de communicatie-node op het hoogste niveau van WIN-T en vervangt dus hiermee de satelliet op dat niveau.



Figuur 4-4: Onderlinge vergelijking vlieghoogten (niet op schaal) en footprints voor antennehoeken van 5° voor niet-terrestriale communicatiemiddelen [23]

Geconcluderend kan worden dat thans in de VS meerdere serieuze en concrete ontwikkelingen plaatsvinden rond communicatie-UAVs die unieke meerwaarde kunnen hebben boven reguliere militaire communicatiemiddelen en wel specifiek

binnen OVG. Deze ontwikkelingen vallen in het hiërarchisch telecommunicatieconcept GIG ten behoeve van NEC dat zelfs voorziet in de behoefte aan draadloze, mobiele UGV- en UGS-communicatie. Hierbij zijn echter duidelijk ook andere functionaliteiten zoals ISTAR en civiele communicatie opgenomen. Door deze synergie zouden deze systemen ook vanuit investerings- en exploitatie-oogpunt aantrekkelijk en dus haalbaar kunnen zijn. De rol van SATCOM is er nog wel, maar duidelijk veel minder prominent dan ca. 2 jaar terug en dan vooral voor de long haul communicatie, wellicht naast de HAA.

4.4.2 Groot-Brittannië

Na een moeizame historie op het gebied van UAVs is Groot-Brittannië begonnen met de ontwikkeling van de Watchkeeper. Men richt zich daarmee op nog kleinere UAVs (Small UAVs ofwel SUAVs) als opvolging van de TUAVs Spectator (brigade-niveau) en van de Sender. Thales wordt zeer waarschijnlijk de producent van Watchkeeper [26]. Als rollen van deze TUAV wordt naast ISTAR en EOV expliciet communications relay genoemd. Groot-Brittannië wil graag aansluiten bij de VS als het gaat om het NCW/NEC-concept [23]. Aangezien ISTAR een cruciaal deel uitmaakt van NCW/NEC is het wel te verwachten dat een groot deel van de ontwikkeling zich hierop richt.
De bruikbaarheid van Watchkeeper in maritieme operaties en OVG zal waarschijnlijk door experimenten worden vastgesteld [24]. Dit vindt waarschijnlijk plaats binnen het JUEP (Joint UAV Experimentation Programme). In ieder geval is het Watchkeeper-ontwikkelprogramma prioriteit verleend en zal de Watchkeeper naar verwachting al in 2005 operationeel zijn in plaats van in 2007. Men richt zich daarbij voorlopig nog alleen op multifunctionele UAVs en nog niet op UCAVs. De ontwikkeling van UCAVs als logisch vervolg op de Watchkeeper zal plaatsvinden binnen JUEP.

Voor Groot-Brittannië luidt de conclusie dat, in navolging van de VS, de UAV-ontwikkelingen ook in deze natie zijn aangezet. Dit geldt specifiek voor communicatie op niveaus van team tot en met brigade. Ook in Groot-Brittannië combineert men functionaliteiten, in ieder geval ISTAR- en militaire communicatiefunctionaliteit (plannen voor civiele communicatievoorzieningen aan boord van UAVs zijn niet gevonden).

4.4.3 NATO

Binnen NATO Panel AC/323 on Applied Vehicle Technology (AVT) is Technical Party 24 actief op het gebied van UAV-standaardisatie. Deze werkgroep bouwt voort op het werk van NIAG SG/53 die sinds februari 1997 onderzoek heeft gedaan naar de haalbaarheid van algehele UAV-systeeminteroperabiliteit. Aan deze studie namen 39 bedrijven uit 14 landen deel en leverden hun resultaat op in maart 1999. Op basis hiervan heeft TP 24 van 1999 tot 2002 STANAG 4586 [20] ontwikkeld (zie Bijlage B). Deze vormt een basis voor interoperabiliteit voor de tele-operation link, payload communicatie en voor platformbesturing en is expliciet opgenomen in de UAV Roadmap van DoD [38].

Specifiek ten aanzien van NATO kan verwacht worden dat rond 2015 (ook de implementatietechnologie in rekening nemende) EHF als draaggolf op het gebied van SATCOM middels het Advanced EHF-project opgeld zal gaan doen. Frequenties in de EHF-band bieden de mogelijkheid om zeer grote bandbreedtes en daardoor transmissiecapaciteit ter beschikking te hebben. De relevantie van de EHF-band voor UAV-verbindingen is des te groter omdat via communicatie-UAVs, die geen noemenswaardige vertragingen in hun verbindingen hebben, deze bandbreedte kan worden benut voor én meer gezamenlijk verkeer én per kanaal interactieve diensten zoals spraak en video. Voor OVG kan dit eveneens van belang zijn, waarbij alleen al goede spraakkwaliteit in stress-situaties van levensbelang is. Gevolg van het gebruik van EHF-frequenties is wel dat de doordringbaarheid door objecten veel geringer is dan voor SHF- en met name UHF-frequenties. Het gevolg is dat men voor de realisatie van non Line-of-Sight verbindingen is aangewezen op de reflecties aan objecten (vooral gebouwen). Of dit in de praktijk realiseerbaar is zal nader moeten worden onderzocht. Bovendien zullen EHF radiogolven extra demping ondervinden door wolken, neerslag, atmosferische gassen (zuurstof en waterstof) en dispersie. Dit zou te compenseren moeten zijn door het zendvermogen en/of de ontvangergevoeligheid te vergroten.

Indien gebruik van EHF-frequenties op deze wijze inderdaad haalbaar is, houdt dit in dat de linkmarge ook wat kleiner hoeft te zijn. Dit is weer gunstig voor de afmetingen van de gebruikersapparatuur en van de accu's. Op EHF-frequenties zijn apparatuur-dimensies hoe dan ook veel kleiner dan voor lagere radiofrequenties. Anderzijds moet wel worden opgemerkt dat in evenredigheid zendvermogen nodig is voor het realiseren van een relatief grote bandbreedte per gebruiker!
Ten slotte hebben EHF-frequenties het voordeel dat de gevoeligheid voor 'man-made' noise zoals dit in een stedelijke omgeving aanwezig is, zeer gering is. Ook zijn verbindingen relatief erg gericht (de energie is zeer gebundeld) waardoor interceptie, interferentie en opzettelijke storing van individuele verbindingen bemoeilijkt wordt. Voor de bedekking van een bepaald stedelijk gebied met een SUAV die met EHF-apparatuur is uitgerust zal men streven naar een antenne-ontwerp dat aan de zijde van de gebruikersterminal een grote bundeling zal realiseren, terwijl voor het verkrijgen van een voldoend grote *footprint* meerdere EHF-antennes aan boord van de SUAV zullen worden geplaatst. De miniaturiseringsmogelijkheden van EHF zullen ook belangrijke voordelen bieden om aan omvangs- en gewichtsrestricties van de SUAV-payload te kunnen voldoen.

De conclusie voor NATO-brede UAV-ontwikkelingen is dat vooral de in de toekomst haalbare EHF-frequenties voor UAV-communicatie meerdere gunstige en essentiële eigenschappen bezitten, met name voor het toepassen van SUAVs in OGV. Het propagatiegedrag van EHF-radioverbindingen in dergelijke gebieden moet echter nog in detail worden onderzocht. Indien de propagatie van EHF-radiogolven niet leidt tot voldoende verbindingsbeschikbaarheid en 'kwaliteit', zouden SHF-frequenties als alternatief beschouwd kunnen worden.

Op gebied van internationale interoperabiliteit is een STANAG ontwikkeld die voorziet in algehele UAV-interoperabiliteit.

4.5 Conclusies voor communicatie-UAVs in OVG

Recente UAV-ontwikkelingen in met name de VS zijn zeer sterk gericht op het realiseren van tactische verbindingen op diverse militaire niveau's. Specifiek is daarbij ook MOUT als toepassing aangemerkt. Groot-brittannië volgt in deze ontwikkelingen de VS. Ten aanzien van internationale interoperabiliteit biedt STANAG 4586 vanuit NATO een uitgangspunt voor zowel de tele-operations verbinding als de communicatie-payload en de platformbesturing.

Voor OVG-doeleinden bieden SUAVs die opereren in de EHF-band in de toekomst de meest veelbelovende optie. Voorbehouden zijn hierbij dat de voorziene reflecties aan objecten in stedelijke omgevingen daadwerkelijk de gewenste verbindingsbetrouwbaarheid biedt en dat geminiaturiseerde EHF-zenders kunnen worden geproduceerd die functioneren op voldoend hoog vermogen.
De toepassing van EHF-frequenties houdt in dat niet alleen meer mogelijkheden ontstaan voor moderne en geavanceerde situational-awareness ondersteunende diensten maar ook de huidige spraakdienst kan worden verbeterd. Met het oog op stress-situaties zoals deze in OVG ontstaan is optimale spraakkwaliteit van groot belang.

Het concept waarin UAVs onderling en al dan niet in combinatie met SATCOM worden geschakeld, kan een verbinding realiseren tussen een teamcommandant en een commandant op eersthoger of gelijkwaardig niveau.

5. Joint Tactical Radio System (JTRS)

JTRS (Joint Tactical Radio System) is een Amerikaanse radio waarin een aantal radiotechnologieën (als combinatie van hardware en software) is opgenomen. Enerzijds heeft dit tot doel om interoperabel te zijn met legacy systemen. Dit kan door softwarematig de golfvorm te selecteren die hoort bij het systeem waarmee men wil communiceren.
Anderzijds is het doel van JTRS om daarin nieuwe, specifieke golfvormen te definiëren. De Soldier Radio Waveform (SRW) zoals binnen SUO/SAS wordt ontwikkeld is daar een ander voorbeeld van. Daarnaast is de Wideband Networking Waveform (WNW) in ontwikkeling. In deze golfvorm zal UWB worden opgenomen.

Vooralsnog is, niet verbazingwekkend, WLAN 802.11 niet als golfvorm opgenomen in JTRS. Dit is ook in de toekomst niet erg waarschijnlijk omdat WLAN 802.11 een civiele standaard is met, in zuivere vorm, zeer beperkte militaire inzetbaarheid. Wel is opname in JTRS te verwachten van militaire WLAN- en WMAN-systemen zoals diverse SDRs (Software Defined Radios).

Als uitvoeringsvorm van de JTRS is voor OVG specifiek interessant de zogenaamde Small Form Fit (SFF) radio voor 2 MHz – 2,5 GHz. Deze radio zal uitgevoerd worden in diverse varianten en voor diverse golfvormen (zie Figuur 5-1), waaronder de WNW.

Waveform	Handheld	Manpack	Small Form Fit
SINCGARS ESIP	x	x	x
HAVEQUICK II	x	x	x
UHF SATCOM DAMA		x	
EPLRS	x	x	x
WNW	x	x	x
UHF SATCOM (-184)		x	
HF SSB w/ALE		x	
HF ATC Data Link		x	
VHF FM	x	x	
VHF AM ATC	x	x	
VHF/UHF FM LMR	x	x	x
VHF ATC Data Link		x	
UHF AM/FM PSK		x	
SATURN		x	
Soldier Radio	x	x	x
COBRA	x		x
MUOS CAI	x	x	x
Cellular Radio & PCS	x	x	x
IBS-M		x	

Figuur 5-1: JTRS Cluster 5 uitvoeringen

6. Conclusies en aanbevelingen

Indien in de periode 2010-2015 voor radiocommunicatie in OVG gekozen wordt voor radiosystemen die varianten zijn van de civiele WLAN-standaard IEEE 802.11 zullen alleen producten in aanmerking komen die essentiële zwakheden van deze standaard oplossen, in ieder geval om het bereik in verstedelijkte gebieden en de bestendigheid tegen interferentie, peiling en opzettelijke storing te vergroten. Daarnaast zal het systeem ook moeten voorzien in een transmissiecapaciteit die zich automatisch aanpast aan de omgeving. De ad hoc-topologie met routering wordt als meest bruikbare optie gezien voor teamcommunicatie in OVG. In de beschouwde periode zouden militaire varianten van de IEEE 802.11-standaard met UWB uitgerust kunnen zijn. Deze technologie is van toepassing voor de communicatie binnen een team en biedt als meerwaarde storings- en interferentiebestendigheid, LPD/LPI, verhoogde verbindingsbeschikbaarheid en combinatie met relatieve indoor plaatsbepaling.

Als alternatief voor een militaire WLAN-variant kan ook een geavanceerde maar relatief kostbare militaire radio worden gekozen. Deze laatste radio is dan waarschijnlijk als JTRS-radio uitgevoerd, waarmee tevens interoperabiliteit met (meestal Amerikaanse) legacy radio's kan worden verkregen. Belangrijke operationele aspecten die bij deze keuze en voor een specifieke product overwogen moeten worden zijn de volgende:

De vereiste robuustheid:
- Belang van zware vercijfering;
- Belang van bestendigheid tegen peiling;
- Belang van bestendigheid tegen interferentie;
- Belang van bestendigheid tegen storing;
- Omvang van de gewenste (betrouwbare) gebiedsdekking indoor en outdoor.

De te ondersteunen topologie (ad hoc- en/of infrastructuur):
- Gewenste wijze van communiceren (*push-to-talk* of gelijktijdige communicatie);
- Gewenste flexibiliteit (verbindingsredundantie en met het team "meereizende dekking") en daarbij goede configureerbaarheid/ autonomie;
- Eis om direct informatie van een teamlid direct naar hoog commandoniveau te transporteren.

Hanteerbaarheid:
- Omvang, stroomverbruik en bedieningsgemak van alle systeemdelen.

Eventueel kan als ad interim-oplossing voor de komende vijf jaar het gebruik van publieke cellulaire technologie in overweging genomen worden, waarbij concessies worden gedaan op het gebied van peilbaarheid, stoor- en interferentiebestendigheid en wellicht ook ten aanzien van responsietijden. Daarbij moet niet uit worden gesloten dat dit type systemen in gemodificeerde, specifieke uitvoeringen op

termijn ook voor Defensie en Maatschappelijke Veiligheid-toepassingen beschikbaar zal komen.

Met recente mondiale UAV-ontwikkelingen en tendensen wordt de toepassing van communication-relay enabled UAVs (kortweg communicatie-UAVs) in de periode 2010-2015 waarschijnlijk, ook als outdoor-middel voor OVG. Inpassing van communicatie-UAVs in het (NATO) Network Enabled Capabilities en specifiek in het Global Information Grid (GIG)-concept ondersteunt deze tendens. Het GIG-concept waarin UAVs onderling en al dan niet in combinatie met SATCOM worden geschakeld, kan binnen OVG een betrouwbare verbinding realiseren tussen een teamcommandant en een commandant op eersthoger of gelijkwaardig niveau. Het gebruik van communicatie-UAVs kan als aanvullend worden gezien op het gebruik van een militaire terrestriale radio of een militaire WLAN-variant.

Voor OVG-doeleinden bieden SUAVs die opereren in de EHF-band of hogere SHF-band in de toekomst de meest veelbelovende optie voor outdoor-communicatie. De toepassing van EHF-frequenties houdt in dat niet alleen meer mogelijkheden ontstaan voor moderne en geavanceerde situational-awareness ondersteunende diensten maar ook de huidige spraakdienst kan worden verbeterd, hetgeen van belang is in stress-situaties zoals deze in OVG ontstaan. De toepassingsmogelijkheid van dergelijke radiofrequenties is nog aan onderzoek en ontwikkeling onderhevig.

Het wordt aanbevolen de inhoud van dit onderzoek te beschouwen bij het aanschafbeleid van nieuwe radiomiddelen voor OVG voor de periode van 2010-2015. Tevens verdient het aanbeveling om voor de periode to 2010 te onderzoeken of cellulaire technologie kan worden ingezet.

7. Referenties

[1] RTO Study Group:
Report by the RTO Study Group into Urban Operations in the Year 2020
24 mei 2002

[2] Website IEEE 802.11 working group:
http://grouper.ieee.org/groups/802/11/main.html

[3] Harris:
http://www.harris.com/

[4] Elbit:
http://www.elbitsystems.com

[5] Kongsberg:
http://www.kongsberg.com

[6] A.L. Randall, R.C. Walter:
Overview of the Small Unit Operations Situational Awareness System
MILCOM2003 Proceedings

[7] L. J. Williams:
SUO SAS Overview
MILCOM2003 Proceedings

[8] *Military Operations In Urban Terrain Focus Area Collaborative Team (MOUT FACT),*
https://www.moutfact.army.mil/research.asp

[9] Julia Andrusenko:
Militairy Operations in Urbain Terrain
MILCOM2004 Proceedings

[10] Joint Tactical Radio System Program Office:
http://jtrs.army.mil

[11] Mobility Management and Networking Laboratory:
AODV overzicht
http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/aodv.html

[12] The Internet Engineering Taskforce:
RFC 1889
http://www.ietf.org/rfc

[13] Defense Advanced Research Projects Agency:
http://www.darpa.mil/ato/programs/suosas.html

[14] Harris SecNet Productlijn:
www.secnet11.harris.com

[15] RRW 014:
Electronic Warfare Aspects for wireless LAN (STG CONFIDENTIEEL)

[16] RRW 007:
WLAN test Cisco-Final

[17] M.W.Win, R.A.Scholtz:
Impulse Radio: How it Works
IEEE Commun. Lett., vol. 2, pp.36-38

[18] JTRS Program Office:
JTRS Operational Requirements Document
http://jtrs.army.mil

[19] Conference proceedings of:
Development and Operation of UAVs for Military and Civil Applications,
RTO Educational Notes nr. 9, NATO; Belgium; 92-837-1033-9;
April 2000

[20] A. Kirschbaum:
NATO Standardization Agreement 4586- Leading the Way to NATO UAV Systems Interoperability
//uav.navair.navy.mil/nato

[21] A. Escudero-Quesada, R. Overduin:
CR-UAVs: developments and trends,
TNO-FEL White Paper, Den Haag, oktober 2000

[22] J. Katzman, Tech Central Station (TCS):
Urban Warfare
1 July 2002, www.techcentralstation.com

[23] T. Tozer, D. Grace (University of York) &
J. Thompson, P. Baynham, DERA Defford:
UAVs en HAPs- Potential Convergence for Military Communications
White Paper, 2001

[24] K. Xu, X. Hong, M. Gerla, H. Ly, D. L. Gu (University of California):
Landmark routing in large wireless Battlefield Networks using UAVs
MILCOM2001 Proceedings

[25] J. Nemerhoff, L. Garcia (US Army CECOM RDEC):
Application of sensor network communications
MILCOM2001 Proceedings

[26] Janes International Defence Review,
juni 2004

[27] *Robot teams for C2*
//eksl-www.cs.umass.edu/robotics_workshop/cds/NASA_JPL/

[28] US Army Signal Center, Directorate of Combat Developments:
Concept of Operation for Airborne Communications Layer
Legacy/ Interim/ Objective Force
30 July 2002

[29] A.L. Randall, R.C. Walter (SRA Int., Inc., Adroit C4ISR Center):
Overview of the Small Unit Operations Situational Awareness System
MILCOM2003 Proceedings

[30] J.L. Burbank (Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory):
Enabling the Objective Force: concepts, technologies, and challenges
MILCOM2003 Proceedings

[31] //nationaldefense.ndia.org

[32] M. Stibbe:
High Altitude Airship- meeting the homeland security blimp
Popular Science, Feb. 2004

[33] D. Barrie:
Emerging Trends in the UAV Market Explored,
Aviation Week & Space Technology, 14 Sept. 2003

[34] Bristol International UAV Systems Conference,
1 april 2003; www.uavworld.com/_disc1

[35] *UAV Rolling News: US seeks innovative UAV tactical technology*
17 November 2003, www.uavworld.com

[36] Maj. S.M. Bishop (USAF, UAV Battlelab):

The potential for Growth: Aerospace Applications of Unmanned Systems in Urban Operations Series
26 April 2002

[37] BAE Systems:
AJCN –Open Architecture for Multi Mission platforms (pres.)
August 2002

[38] Office of the Secretary of Defense:
Unmanned Aerial Vehicles Roadmap 2002-2027
December 2002

[39] capt. Kioutas (ATZH-CDM):
Information Paper – Airborne Communications Relay Update
24 November 2003

[40] *The Army's Bandwidth Bottleneck*
CBO study, August 2003

[41] D. Murphy (Space and Naval Warfare Systems Center),
J. Cycon (Sikorsky Aircraft Corporation):
Applications for mini VTOL UAV for law enforcement
www.cbo.gov

8. Ondertekening

Dr. M.J.C. van den Homberg
BIT manager

Ir. R. Overduin
Hoofdauteur en projectleider

Bijlage A Categorisering van UAVs

Uit o.m. [21] is de een indeling van militaire UAVs gemaakt naar grootte met de volgende richtgetallen:

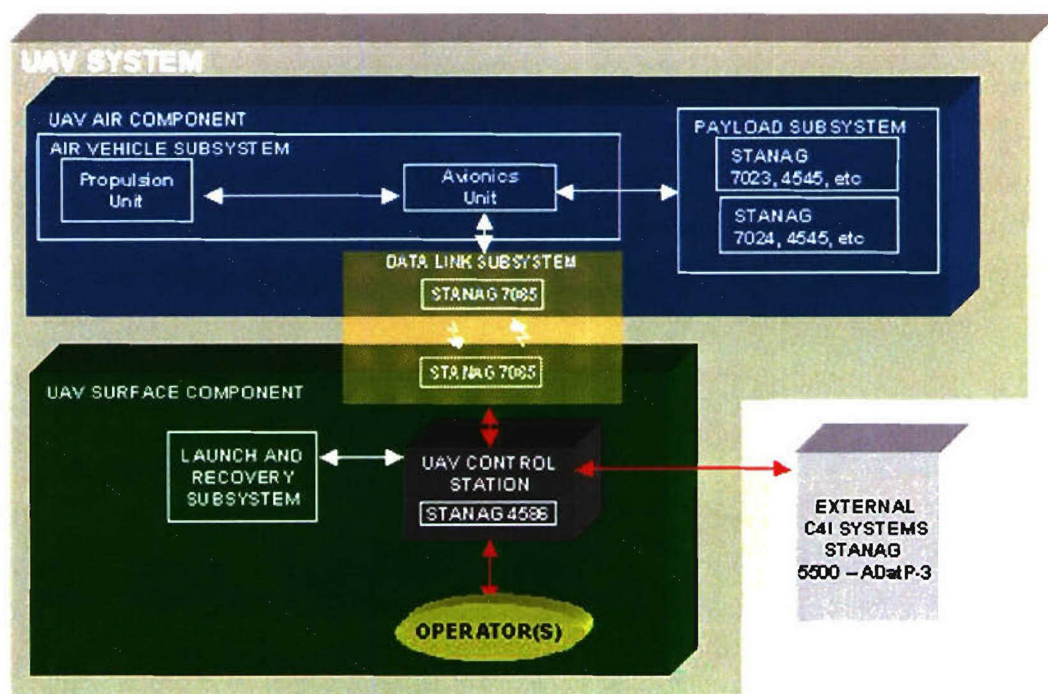
- Micro UAV. Dit type heeft een totaal gewicht van ca. 100 gram en is bedoeld om gebouwen van buitenaf binnen te dringen en vervolgens reconnaissance- en surveillance-functies uit te voeren. De endurance bedraagt slechts maximaal 20 minuten en het payload gewicht ca. 20 gram;
- SUAV (Small UAV) met een payload van ca. 50 kg, een endurance van 6-8 uur en een vlieghoogte van ca. 1,5 km;
- MA(L)E (Medium Altitude/(Long) Endurance) UAV met een payload-capaciteit tot ca. 300 kg, een maximale endurance van enkele dagen en een vlieghoogte van ca. 6 km.
- HA(L)E (High Altitude/(Long) Endurance) UAV met een payload-capaciteit van minimaal ca. 800 kg. HALEs vliegen op hoogtes van minimaal ca. 12 km en hebben een maximale endurance van enkele dagen.

N.B.:

- het kan voorkomen dat een MALE een langere endurance heeft dan een HALE;
- een SUAV wordt algemeen gezien als een subset van het type TUAV (Tactical UAV);
- bovenstaande indeling is indicatief; in de praktijk liggen bepaalde typen dicht bij elkaar en worden daarom in de literatuur wel door elkaar gebruikt.

Bijlage B UAV-interoperabiliteit binnen NATO

Internationale UAV platform-interoperabiliteit kan worden verkregen door het werk van NATO Panel AC/323 on Applied Vehicle Technology (AVT), Technical Party 24 on UAV technology. Eveneens formuleert NATO de regels omtrent Air Traffic Management.
Een belangrijk uitgangspunt voor UAV-interoperabiliteit is dat hierdoor meerdere UAVs door één grondstation kunnen worden bestuurd. STANAG 4586 [20] geeft de interfaces aan voor een volledige UAV systeem interoperabiliteit. Deze is geratificeerd in 2003.
De Amerikaanse marine ontwerpt nu zijn TCS (Tactical Control System) op basis van STANAG 4586. Hoewel deze NATO-standaard primair gericht is op de interoperabiliteit voor ISTAR-UAVs, zijn veel delen ook van toepassing op communicatie-UAVs. Algemeen wordt erkend dat communicatie-UAVs Beyond LOS-communicatie kunnen bewerkstelligen in een uitgebreide ontplooiing van eenheden in joint en combined verband.



Figuur B-1: STANAG 4586 UAV System Interoperability Architecture

De UAV Control Station architectuur en interfaces ondersteunen de communicatieprotocollen en bericht formats voor zowel nieuwe als legacy UAV-systemen. Dit zijn niet alleen data link subsysteem protocollen maar ook payload subsysteem protocollen (Zie Figuur B-1). De architectuur past zowel bestaande STANAGS (of STANAGs die zich momenteel in het ratificatieproces bevinden)

toe als open commerciële standaarden zoals Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP), Open Shortest Path First (OSPF) en Simple Mail Transfer Protocol (SMTP). De selection en toepassing van deze standaarden door de industrie zullen uiteindelijk het interoperabiliteitsniveau van het betreffende UAV-systeem bepalen.

Specifiek geldt dat voor telecommunicatie-interoperabiliteit veel issues overeenkomen met die van terrestriale tactische netwerken (met name spectrale issues verschillen). Met de opkomst van tactische IP is het waarschijnlijk dat met name interoperabiliteit op payload-niveau zal zijn gebaseerd op dit protocol dan op connectie-geöriënteerde protocollen zoals LINK16.

REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANISATION REPORT NO
TD04-0463		33538
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO	**5. CONTRACT NO**	**6. REPORT DATE**
019.20499	A04KL146	December 2004
7. NUMBER OF PAGES	**8. NUMBER OF REFERENCES**	**9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED**
55 (incl appendices, excl RDP & distribution list)	41	Final

10. TITLE AND SUBTITLE

Toekomstige radiocommunicatie in OVG

11. AUTHOR(S)

R. Overduin, J.C.M. Segers

12. PERFORMING ORGANISATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)

TNO Informatie- en Communicatietechnologie, PO Box 5050, 2600 GB Delft, The Netherlands
Brassersplein 2, Delft, The Netherlands

13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)

KCenGM
Prins Bernhardkazerne, Barchman Wuytierslaan 198, Amersfoort, The Netherlands

14. SUPPLEMENTARY NOTES

The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))

This report considers the applicability of military WLAN-based systems, communication relay-enabled UAVs and UWB for communications in Urban Warfare for the period of 2010-2015. Technical-operational requirements have been identified and applied to for the purpose of this study. The role of JTRS and Network Enabled Capabilities has also been regarded in this study. As a possible intermediate solution, the use of GPRS has been briefly considered.

16. DESCRIPTORS	IDENTIFIERS
Telecommunication Urban Warfare	Small Unit Operations Wireless LAN Military Communication Ultra Wideband Unmanned Aerial Vehicle

17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
Ongerubriceerd	Ongerubriceerd	Ongerubriceerd

18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)
Unlimited	Ongerubriceerd

Distributie rapport

1. SC-WOO
2. HWO-KL
3. TNO Defensie en Veiligheid, t.a.v. Programmaleider TNO, drs. R.G.W. Gouweleeuw
4. OTCMAN, t.a.v. Programmabegeleider Defensie, Lkol. H.J.R. Oerlemans
5. OTCMAN, t.a.v. Projectbegeleider Defensie, Maj. R.G.A.W. Wilmsen
6. OTCMAN, t.a.v. Lkol. J.P. van Houten
7. Bureau SMP, t.a.v. Lkol. H.J. Wendrich
8. OTCMAN/ KCenGM, t.a.v. kap. N. Teerds
9. OTCMAN/ KCenGM, t.a.v. kap. C.L. Roos
10. Directeur TNO Defensie en Veiligheid
11. Bibliotheek KMA
12. Bibliotheek KMA
13. Bibliotheek KMA
14. Archief TNO Informatie- en Communicatietechnologie, in bruikleen aan ir. F.J.G. van Aken
15. Archief TNO Informatie- en Communicatietechnologie, in bruikleen aan dr. M.J.C. van den Homberg
16. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan BU 1, t.a.v. ir. F.L.M. van den Bogaart
17. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan BU 2, t.a.v. dr. ir. M.P.I. Manders
18. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan BU 5, t.a.v. dr. ir. J. Godthelp
19. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan ir. R.R. Barbier
20. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan drs. B.J.E. Smeenk
21. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan ir. M. Spaans
22. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan ir. M.D.E. van der Lee
23. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan ir. E. van der Veen
24. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan drs. J.A. Rypkema
25. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan dr. W.A. Lotens
26. Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan drs. M. Bloem
27. Archief TNO Informatie- en Communicatietechnologie, in bruikleen aan ing. J.C.M. Segers
28. Archief TNO Informatie- en Communicatietechnologie, in bruikleen aan ing. R. Wymenga
29. Archief TNO Informatie- en Communicatietechnologie, in bruikleen aan dr. ir. J. de Jongh
30. Archief TNO Informatie- en Communicatietechnologie, in bruikleen aan ir. R. Overduin
31. Documentatie TNO Defensie en Veiligheid, locatie Den Haag, t.a.v. mr. T. J. Kranenburg
32. Documentatie TNO Defensie en Veiligheid, locatie Soesterberg
33. Documentatie TNO Informatie- en Communicatietechnologie (secretariaat BU Public)

Indien binnen de krijgsmacht extra exemplaren van dit rapport worden gewenst door personen of instanties die niet op de verzendlijst voorkomen, dan dienen deze aangevraagd te worden bij het betreffende Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek of bij de SC-WOO.

Indien binnen de krijgsmacht extra exemplaren van dit rapport worden gewenst door personen of instanties die niet op de verzendlijst voorkomen, dan dienen deze aangevraagd te worden bij het betreffende Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek of bij de SC-WOO.